D. MIHOC
ST. POPESCU

Automatizări

MANUAL PENTRU LICEE CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ, MATEMATICĂ-ELECTROTEHNICĂ, MATEMATICĂ-ELECTRONICĂ, CLASA A XI-a SAU A XII-a, ŞI ŞCOLI DE MAIŞTRI

Manualul reprezintă reeditarea ediției 1977

Materialul a fost revizuit astfel:
D. Mihoc: cap. 6, 9, 10
St. Popescu: cap. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12

Redactor: ing. *Monica Șerbu*
Tehnoredactor: *Ana Țimpău*
Grafician: *Victor Wegemann*

Partea întîi

ELEMENTELE SISTEMELOR AUTOMATE

Capitolul 1

INTRODUCERE ÎN AUTOMATICĂ

A. OBIECTUL ȘI IMPORTANȚA AUTOMATICII

În procesele de producere a bunurilor materiale, o importanță deosebită o are automatizarea acestor procese, adică realizarea lor fără participarea directă a omului.

Un **proces de producție — tehnologic** — are loc într-o instalație tehnologică și se desfășoară în anumite condiții fizice, fiind caracterizat de (fig. 1.1):

— *cantități (fluxuri) de materie și energie F_i transmise procesului în unitatea de timp (fluxuri de intrare);*

— *cantități de materie și energie F_e extrase din proces în unitatea de timp (fluxuri de ieșire);*

— *cantități de materie și energie F_a acumulate (stocate) în proces* (în instalația tehnologică) *în unitatea de timp.*

Este evident că, în conformitate cu legea conservării materiei, aceste trei fluxuri: F_i, F_e și F_a sînt interdependente pe baza următoarei ecuații de bilanț:

$$F_i - F_e = F_a. \tag{1.1}$$

În cazul general, în care cele trei fluxuri sînt variabile în timp, procesul se află în *regim dinamic:*

$$F_i(t) - F_e(t) = F_a(t). \tag{1.2}$$

În cazul particular în care $F_a = 0$, procesul se află în *regim staționar:*

$$F_i - F_e = F_a = 0, \tag{1.3}$$

sau:

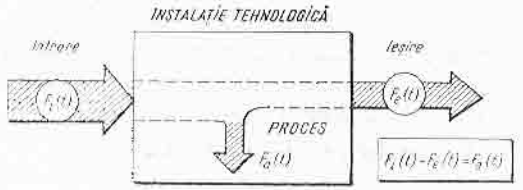


Fig. 1.1. Schema-bloc a unei instalații tehnologice.

$$F_i = F_e. \tag{1.4}$$

Fluxurile de masă și energie care contribuie la realizarea proceselor de producție sînt caracterizate printr-o serie de mărimi fizice (parametri) între care există relații de interdependență, consecințe ale unor legi cunoscute din fizică. De exemplu, la un cazan dintr-o termocentrală intervin o mulțime de parametri, cum sînt: debitul, temperatura și presiunea aburului, a combustibilului și a apei de alimentare, capacitatea calorifică a combustibilului, temperatura în focar, temperatura mediului înconjurător etc. Aceste mărimi sînt legate între ele printr-o serie de legi: transmisia căldurii prin pereți (legea Fourier), conservarea energiei etc. Datorită acestui fapt, modificarea în procesul de producție a unora dintre acești parametri datorită necesităților tehnologice din afara instalației respective atrage după sine modificarea corespunzătoare a altor parametri din interiorul instalației. Astfel, în exemplul de mai sus, debitul de abur variind în funcție de consumul turbinei pe baza legilor amintite, temperatura și presiunea aburului debitat de cazan vor varia și ele.

Se observă deci, din exemplul dat, că satisfacerea unei necesități a producției și anume furnizarea unui debit variabil de abur, influențează asupra calității acestuia în sensul că temperatura și presiunea aburului respectiv cresc sau scad. Această deficiență este remediată de către cel care exploatează instalația respectivă; acesta măsoară sau controlează valoarea parametrilor care-l interesează (în exemplul dat, măsoară temperatura și presiunea), adică se „informează" asupra procesului și comandă modificarea acestuia prin anumite elemente ale instalației (în exemplul dat, comandă admisia cantității de combustibil și de apă de alimentare, prin deschiderea sau închiderea unor vane).

În alte cazuri, procesul de măsurare a unor parametri din instalație este însoțit simultan de comanda instalației respective, astfel ca acei parametri să fie menținuți la valori dorite (prescrise). Se spune că parametrii respectivi se reglează.

Aceste funcțiuni de: *măsurare, comandă, reglare,* precum și altele, ce vor fi analizate în cele ce urmează, au fost scoase treptat de sub acțiunea directă a omului și trecute în seama unor dispozitive de automatizare ce se studiază în cadrul disciplinei numită *automatică.*

Automatica este o *ramură a științei și tehnicii care cuprinde totalitatea metodelor și a mijloacelor tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între instalațiile tehnologice și dispozitivele nou introduse, astfel încît conducerea proceselor de producție să se desfășoare fără intervenția directă a omului.*

Așadar, se poate spune în linii generale că relația „om-mașină" sau „om-instalație tehnologică" cuprinde două funcții generale, distincte:

— funcția de *informare* a omului asupra mărimilor din procesul tehnologic (fig. 1.2), realizată de la instalație spre om;

— funcția de *comandă* a procesului tehnologic de către om (fig. 1.2), realizată de la om spre instalație.

Aceste două funcții generale sînt interdependente și corelate între ele, în sensul că informarea asupra procesului determină comanda elementelor din instalație (sau proces tehnologic), în timp ce consecința comenzii este modificarea parametrilor din proces, care determină o nouă informare ș.a.m.d.

Această *dublă relație OM-MAȘINĂ,* concretizată prin funcțiile generale de informare și comandă, poartă denumirea de **conducere** sau **dirijare** a mașinii, a instalației sau a procesului respectiv.

Atît timp cît *conducerea instalației* (a procesului) este *efectuată de om* („operator uman"), ea se numește **conducere neautomată** (sau, impropriu-zis, „manuală", înțelegînd prin aceasta intervenția manuală a omului).

Preluarea funcțiilor omului de către dispozitive de automatizare (automate) reprezintă **conducerea automată** sau **automatizarea** instalației (a procesului) respective.

Funcțiile complexe de informare și comandă sînt similare cu cele arătate în figura 1.2, cu observația că în locul omului a apărut dispozitivul de automatizare (fig. 1.3).

Ansamblul instalație tehnologică — dispozitiv de automatizare poartă numele de **instalație** *(sistem)* **automată.**

După cum se va vedea mai departe, se disting: *sisteme de măsurare automată, sisteme de comandă automată, sisteme de reglare automată* etc.

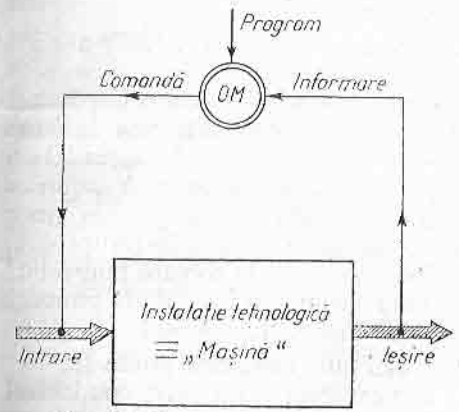


Fig. 1.2. Relația „om-mașină".

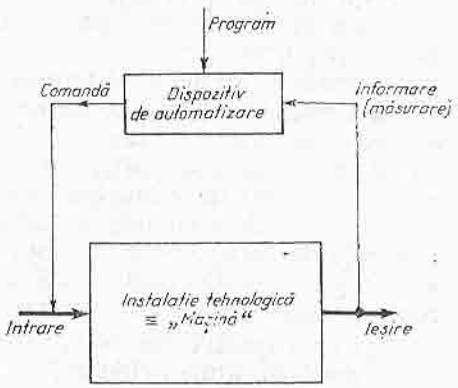


Fig. 1.3. Relația „automat-mașină".

În cadrul funcțiilor generale enumerate mai sus se definesc următoarele **funcții elementare** întîlnite în automatică: *măsurarea, comanda* și *semnalizarea.*

În afara acestor funcții elementare, în automatică se mai întîlnesc și alte **funcții cu caracter complex,** care pot fi considerate ca o combinare a celor elementare; astfel sînt: *reglarea, controlul, protecția* etc.

● **Măsurarea** reprezintă *informarea cu caracter cantitativ asupra mărimilor din procesul tehnologic.* Prin măsurare se asigură, de exemplu, determinarea valorilor presiunii, temperaturii, debitului, puterii etc., sensul semnalului fiind, bineînțeles, de la instalație către un punct central de supraveghere (de exemplu o „cameră de comandă"). În funcție de caracterul semnalului, măsurarea poate fi:

— *continuă,* atunci cînd valorile măsurate ale parametrilor sînt transmise permanent;

— *discontinuă (discretă),* atunci cînd valorile respective sînt transmise din timp în timp (de exemplu: automat, din minut în minut, sau „la cerere", adică după dorința unui operator).

● **Semnalizarea** reprezintă *informarea cu caracter calitativ asupra situației de stare* (poziție) *sau de funcționare a unor elemente din instalație sau a instalației în ansamblu;* de exemplu: poziția închis-deschis a unor vane sau întreruptoare, ieșirea din limite (sub-peste) a unor parametri, funcționare normală — anormală (avarie) a instalațiilor etc.

Se constată caracterul discontinuu (discret) de tip binar („da-nu") al semnalizării, adică posibilitatea de asociere la cele două stări a celor două semne logice elementare (1 sau 0).

Avînd în vedere caracterul informațional al semnalizării, rezultă sensul semnalului de la instalație către punctul central de supraveghere (cameră de comandă).

Semnalizarea (prin definiție discontinuă) poate fi:

— *optică,* atunci cînd este finalizată prin aprinderea („1") a unui bec stins („0");

— *acustică,* atunci cînd este finalizată de o sonerie sau o hupă.

● **Comanda** reprezintă *acțiunea cu caracter cantitativ sau calitativ asupra situației de stare sau de poziție a unor elemente din instalația tehnologică în scopul modificării continue, respectiv discontinue, a valorilor unor parametri;* de exemplu: comanda de modificare a poziției unor vane sau ventile, comanda de închidere-deschidere a unor întreruptoare, comanda de pornire-oprire a motoarelor, comanda de sortare bun-rebut a unor piese etc. Comanda se dă, așa cum s-a mai arătat, de la punctul central (dispozitiv de automatizare) către instalația tehnologică.

Așa cum rezultă din exemplele de mai sus, comanda poate fi:

— *continuă,* atunci cînd acțiunea are caracter cantitativ, conducînd la modificări continue ale unor elemente de execuție au mașini (varierea poziției vanelor, varierea vitezei motoarelor etc.) în scopul modificării continue a parametrilor din instalație (de exemplu debit — cantitate de substanță — viteză etc.);

— *discontinuă,* atunci cînd acțiunea are caracter calitativ, conducînd la modificări discrete ale unor elemente de execuție sau mașini (deschiderea-închiderea vanelor, pornirea-oprirea motoarelor etc.), în scopul modificării discontinue a parametrilor din instalație („tot sau nimic").

● **Reglarea** reprezintă *comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii unuia sau a mai multor parametri la anumite valori prescrise — mărime „program" sau „de consemn"* (de exemplu, menținerea constantă a temperaturii aburului dintr-un cazan sau menținerea constantă a tensiunii unui generator electric etc.), — v. cap. 9.

Sistemele de reglare automată se mai numesc și *sisteme automate cu circuit închis,* spre deosebire de celelalte descrise anterior, care se numesc *cu circuit deschis.*

● **Controlul** reprezintă *o funcție complexă de automatizare, prin care măsurarea continuă a unui parametru se efectuează în scopul sesizării momentului în care parametrul respectiv a ieșit din anumite limite prescrise.* Caracterul discontinuu al controlului este pus în evidență, de obicei, printr-o semnalizare (optică sau acustică), prin care se finalizează procesul de măsurare.

De exemplu: temperatura este sub 500°C (semnal „0") sau peste 500°C (semnal „1"), sau presiunea este cuprinsă între 18 și 25 atm (semnal „0") sau a scăzut sub 18 atm ori a depășit 25 atm (semnal „1").

În cazul în care controlul se referă la calitatea unor produse, el poate fi finalizat nu numai printr-o semnalizare, ci printr-o comandă discontinuă, care într-o formă adecvată separă produsele bune (semnal „0") de cele rebutate (semnal „1"). Acest sistem de control se numește **sortare automată.**

● **Protecția** reprezintă *o funcție complexă de automatizare prin care măsurarea continuă a unor parametri din instalație se efectuează în scopul sesizării momentului în care instalația condusă s-a defectat parțial sau total, comandîndu-se oprirea părților defecte sau a instalației în ansamblu.* Trebuie observat că: comanda trebuie să fie *discontinuă* (închiderea vanelor, deschiderea întreruptoarelor etc.) și *ireversibilă,* adică comanda rămîne definitivă independent de valoarea parametrilor măsurați ulterior, pînă ce defecțiunile au fost remediate și instalația este repusă în funcțiune.

Funcţiile complexe din automatică nu sînt limitate, ele pot apărea pe măsura dezvoltării proceselor tehnologice, deci pe măsura dezvoltării automatizărilor.

B. NECESITATEA ŞI AVANTAJELE AUTOMATIZĂRII PRODUCŢIEI

Introducerea pe scară largă a automatizării în toate domeniile vieţii economice deschide largi perspective în ceea ce priveşte aspectul cantitativ şi calitativ al producţiei.

Deşi capacitatea de analiză şi sinteză a creierului uman a ajuns la o dezvoltare impresionantă, totuşi, pentru un om („operator uman"), a cărui capacitate de supraveghere şi a cărui viteză de gîndire şi de reacţionare sînt limitate, problema conducerii unui proces tehnologic devine din ce în ce mai dificilă pe măsură ce instalaţia este mai complexă, iar procesul se desfăşoară mai rapid.

Mai mult decît atît, unele procese, numite ultrarapide ca, de exemplu, reacţiile într-un reactor atomic sau zborul unei rachete cosmice, conţin atît de mulţi parametri, care variază cu viteze atît de mari, încît conducerea procesului respectiv este practic imposibilă fără introducerea automatizării.

Necesitatea introducerii automatizărilor rezidă în **avantajele** substanţiale pe care aceasta le oferă:

— *eliberarea omului de la conducerea nemijlocită, directă, a proceselor şi instalaţiilor tehnologice de producţie,* activitate umană obositoare şi depăşită în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii. În acest mod se reduce atît munca fizică, cît şi munca intelectuală necreatoare, de rutină;

— *creşterea vitezei de lucru a maşinilor şi utilajelor* şi, implicit, *creşterea apreciabilă a producţiei şi a productivităţii muncii*; procesul de producţie decurge ritmic, fără timpi morţi sau timpi de odihnă;

— *folosirea intensivă a agregatelor, maşinilor şi utilajelor* prin creşterea indicatorilor de utilizare ai acestora;

— *realizarea proceselor de producţie în condiţiile creşterii substanţiale a calităţii produselor*;

— *reducerea considerabilă a cheltuielilor de producţie* prin reducerea consumurilor specifice de materie primă şi materiale.

Deşi introducerea automatizării implică investiţii suplimentare, reducerea cheltuielilor pe ansamblul investiţiei şi implicit reducerea preţului de cost al produselor sînt evidente.

C. FAZELE EVOLUTIVE ALE PROCESELOR DE PRODUCŢIE

1. Procesul manual

Pe măsura dezvoltării ştiinţei şi tehnicii, procesele de producţie au suferit o transformare continuă, respectiv o reducere treptată a muncii fizice a omului, compensată de o creştere corespunzătoare a muncii intelectuale.

Înainte de descoperirea şi utilizarea forţei motoarelor — a maşinilor cu abur, a motoarelor electrice sau a celor cu ardere internă — majoritatea proceselor de producţie se efectuau în întregime manual.

În procesul manual (fig. 1.4, *a*), omul cedează instalaţiei tehnologice energia mecanică necesară, din însăşi forţa sa musculară. Evident că şi procesul de conducere se exercită prin acelaşi „canal energetic".

De exemplu, un om care scoate apă dintr-un puţ pentru a umple un rezervor de apă şi foloseşte o pompă de mînă, desfăşoară un proces

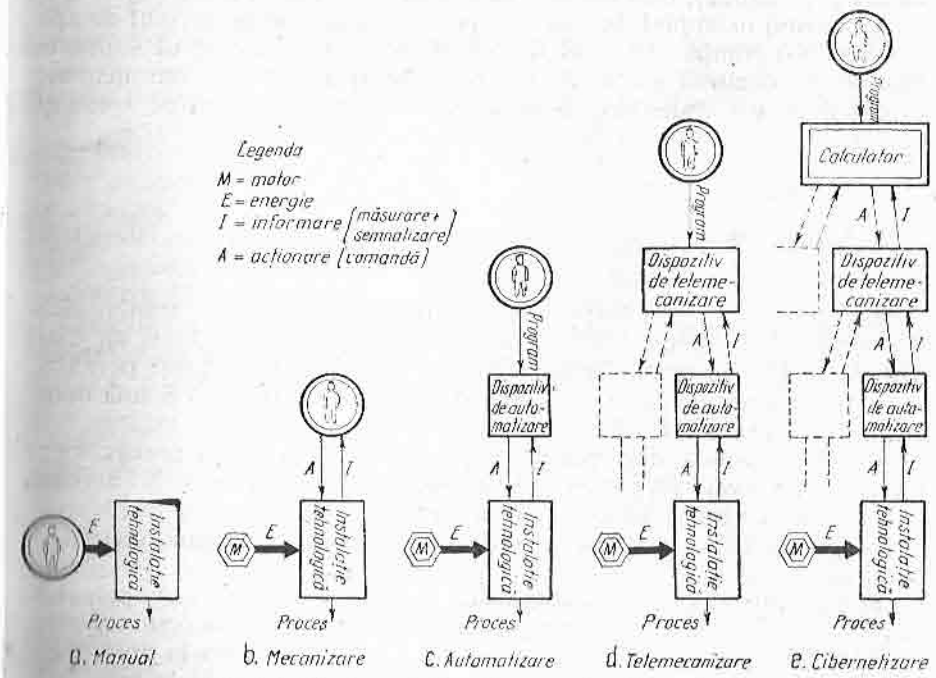


Fig. 1.4. Fazele evolutive ale proceselor de producţie:
a — manual; *b* — mecanizat; *c* — automatizat; *d* — telemecanizat; *e* — condus prin calculator.

manual, energia potențială de ridicare a apei fiind cedată din energia sa musculară; în același timp, el „conduce" procesul prin aceeași cale, în sensul că, dacă constată că apa din rezervor se consumă prea repede, pompează și el mai repede; dacă rezervorul s-a umplut, el se oprește din pompat ș.a.m.d. Omul este, așadar, complet integrat în procesul de producție.

2. Mecanizarea

Prin folosirea energiei mecanice obținute de la diverse tipuri de motoare — în special motoare electrice — procesele de producție cunosc o nouă fază de dezvoltare: *mecanizarea*; ea poate fi aplicată fie numai la o parte din instalațiile care necesită energie mecanică (mecanizare parțială), fie la toate instalațiile respective (mecanizarea totală). Așadar, în procesul de mecanizare omul conduce instalația tehnologică (se informează și comandă), însă motorul este acela care o acționează (fig. 1.4,*b*).

Urmărind exemplul de mai sus, pomparea apei în rezervorul de apă se face cu o pompă acționată de un motor electric, iar omul supraveghează și comandă pornirea, respectiv oprirea pompei, sau dispune eventual de mai multe electropompe care concură la realizarea aceleiași operații.

3. Automatizarea

S-a arătat că, prin introducerea automatizării, funcția omului este preluată de dispozitivul de automatizare (fig. 1.4, *c*). Omul nu mai trebuie deci să comande închiderea sau deschiderea unor vane, pornirea sau oprirea unor agregate etc., sarcina respectivă trecînd în seama unor elemente de automatizare.

Urmărind același exemplu ca mai sus: rezervorul va fi prevăzut cu un „releu de nivel" (v. cap. 4), care va sesiza atingerea nivelului maxim sau minim al apei și va comanda automat deschiderea sau închiderea întreruptorului de alimentare a electropompei, adică oprirea, respectiv pornirea, pompei.

Pentru introducerea automatizării este necesar, de exemplu, ca întreruptoarele să fie prevăzute cu dispozitive de comandă, vanele — cu motoare de acționare (servomotoare) etc., adică instalația în ansamblu sau părțile din instalație supuse automatizării trebuie să fie în prealabil mecanizate.

4. Telemecanizarea

Uneori, o serie de instalații tehnologice repartizate pe o suprafață relativ mare pot lucra într-o legătură funcțională de interdependență, constituind o instalație complexă.

Conducerea la distanță a unor obiecte dispersate pe un teritoriu relativ mare, de la distanțe de zeci sau sute de kilometri, necesitînd o serie de canale de legătură (linii fizice sau prin radio etc.) prin care să se transmită diversele „semnale" de măsurare, comandă, semnalizare etc., reprezintă telemecanizarea instalațiilor respective.

Știința care se ocupă de telemecanizare poartă numele de **telemecanică** (v. cap. 10).

Telemecanizarea unei anumite instalații tehnologice presupune o automatizare completă a obiectivului respectiv (fig. 1.4, *d*).

5. Conducerea prin calculator

Cea mai înaltă formă de organizare a proceselor de producție o reprezintă conducerea prin calculator a proceselor de producție, fază care se mai numește și „automatizare complexă". Aceasta constă în prevederea la instalațiile tehnologice automatizate și telemecanizate a unor calculatoare electronice care efectuează procese „de gîndire" asemănătoare cu cele produse în creierul omenesc și impun anumite decizii în conducerea unui proces tehnologic complex (v. cap. 11).

Conducerea prin calculator a unei instalații tehnologice nu poate fi realizată decît numai pe baza automatizării și telemecanizării instalației respective (fig. 1.4, *e*).

Din figura 1.4, care reprezintă, așadar, fazele evolutive ale proceselor de producție, se constată evoluția poziției omului pe parcursul evoluției tehnice a proceselor de producție.

D. REALIZĂRI ÎN DOMENIUL AUTOMATIZĂRILOR ÎN R. S. ROMÂNIA

În țara noastră, ținîndu-se seamă de avantajele pe care le oferă automatizarea, documentele de partid și de stat subliniază necesitatea mecanizării și automatizării proceselor de producție, ca o verigă fundamentală în creșterea producției și productivității muncii, ca un factor determinant în creșterea nivelului de trai material și cultural al celor ce muncesc.

Pe linia aplicării acestor directive, în țara noastră s-a dezvoltat o puternică *industrie de elemente de automatizare*:

— Întreprinderea pentru Elemente de Automatizare — IEA — București;
— Întreprinderea Automatica — București;
— Întreprinderea Electroaparataj — București;
— Întreprinderea Electrotehnica — București;
— Întreprinderea Electromagnetica — București;
— Întreprinderea de panouri și tablouri electrice — IPTE — Alexandria;
— Întreprinderea de elemente pneumatice de automatizare și măsură — IEPAM — Bîrlad;
— Întreprinderea de aparate electrice de măsurat — IAEM — Timișoara;
— Întreprinderea de aparataj electric — IAE — Titu;
— Întreprinderea Electrocontact — Botoșani.

Paralel cu dezvoltarea industriei elementelor de automatizare, a fost asigurată și o *concentrare treptată a potențialului de concepție, cercetare și proiectare în domeniul elementelor, al echipamentelor și al instalațiilor de automatizare* în cadrul Institutului de cercetări și proiectări pentru automatizări — IPA — București, Institutul de tehnici de calcul — ITC, Institutul de cercetări electronice — ICE, precum și în cadrul unor colective de specialitate din învățămînt și din alte sectoare productive.

Ca **realizări în domeniul automatizării producției** obținute pînă în prezent în țara noastră, se pot cita:

— *în industria siderurgică:* furnalele și cuptoarele Martin parțial automatizate de la Combinatele siderurgice din Reșița și Hunedoara, laminoarele automatizate de diferite tipuri de la Combinatele siderurgice Hunedoara și Galați, fabrica de țevi din Roman etc.;

— *în industria chimică*: combinatele chimice cu grad ridicat de automatizare de la Borzești, Săvinești, Roznov, Turnu Măgurele, Craiova, Pitești etc.;

— *în industria energetică:* termocentralele Borzești, Paroșeni, Luduș, Ișalnița, hidrocentralele de pe Argeș, de pe Bistrița, Porțile de Fier, Lotru etc.

În cincinalul actual se vor extinde mecanizarea și automatizarea producției, fiind prevăzute în acest scop un număr important de acțiuni de mecanizare și automatizare cu caracter complex; se vor elabora noi tipuri de mașini-unelte cu grad înalt de automatizare, iar în domeniul electrotehnicii și electronicii se vor crea noi echipamente de acționare electrică, mijloace de automatizare, echipamente de calcul, noi componente electronice și circuite integrate pentru calculatoare; se va intensifica

ritmul înzestrării economiei cu tehnica de calcul și introducerea sistemelor de conducere cu mijloace de prelucrare automată a datelor, acordîndu-se prioritate dotării întreprinderilor și centralelor industriale.

E. ELEMENTELE COMPONENTE ALE SISTEMELOR AUTOMATE

S-a arătat că un sistem automat a rezultat din aplicarea unui dispozitiv de automatizare la o instalație tehnologică. Întregul ansamblu este format dintr-o serie de părți constitutive, numite *elementele sistemelor automate*.

Elementele sistemelor automate se referă așadar la două grupe de obiecte distincte din punct de vedere structural și funcțional, și anume:

— *elementele instalației tehnologice, constituind părțile componente ale instalației ce realizează procesul tehnologic*; din această categorie fac parte de exemplu diverse cazane, pompe, conducte, motoare, rezervoare, turbine, generatoare etc.;

— *elementele de automatizare, care reprezintă părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.*

Elementele de automatizare se construiesc într-o gamă foarte largă și foarte variată.

Ele pot avea o structură mai simplă sau mai complexă, corespunzător scopului de automatizare propus. Pe baza unor trăsături comune, elementele de automatizare se pot clasifica în mai multe feluri.

După principiul constructiv și funcțional, se deosebesc: *traductoare, adaptoare, amplificatoare, relee, stabilizatoare, distribuitoare, convertoare* etc.

După rolul îndeplinit într-un sistem automat se disting: *elemente de măsurare, elemente de comparație, elemente de calcul, elemente de reacție* etc.

După felul energiei auxiliare folosite, elementele de automatizare se împart în elemente: *electrice, pneumatice, hidraulice* și *elemente mixte* (de exemplu electrohidraulice).

În acest manual vor fi studiate elemente cu o structură mai complexă, regulatoarele, care cuprind diverse elemente din cele arătate mai sus (de exemplu: adaptoare, amplificatoare, stabilizatoare etc.), folosesc mai multe feluri de energie (de exemplu: regulatoare electropneumatice) și au o comportare complexă în regim dinamic (de exemplu: regulatoare proporțional-integratoare etc.).

La începutul dezvoltării automatizărilor, elementele de automatizare au fost realizate într-o formă specializată („neunificată"), valorile parametrilor de intrare și de ieșire ale elementelor prevăzute într-o schemă fiind diferiți de la caz la caz.

În prezent, pe măsura introducerii pe scară largă a automatizărilor, s-a procedat la **unificarea elementelor de automatizare** în sensul că *„semnalele" de ieşire ale unor elemente similare sînt aceleaşi („unificate")*. De exemplu: semnalul unificat de curent continuu este: 2—10 mA, semnalul unificat de presiune este 0,2—1 kgf/cm² etc. (v. cap. 2).

Industria românească realizează un amplu sortiment de elemente de automatizare, care satisface marea majoritate a cerinţelor întîlnite în instalaţiile industriale. În cadrul Întreprinderii de elemente pentru automatizare — IEA — se realizează şi un sistem electronic unificat denumit *sistemul E*, purtătorul informaţiilor fiind semnalul de curent continuu cu „zero viu" ($x_i = 0$; $x_e = 0{,}2$ mA).

În anexa 1 este prezentată schema generală a sistemului electronic unificat „E", iar în anexa 2, schema generală a sistemului electronic neunificat.

În afară de acestea, Întreprinderea de Elemente Pneumatice de Automatizare şi Măsură — FEPAM — Bîrlad — are în curs de asimilare un sistem pneumatic unificat („sistemul P").

În capitolele următoare vor fi prezentate diverse elemente de automatizare, indicîndu-se totodată şi tipurile de elemente de automatizare realizate şi folosite în ţara noastră.

REZUMAT

1. Prin *automatizarea proceselor de producţie* se înţelege introducerea unor dispozitive speciale (dispozitive de automatizare) la instalaţiile tehnologice (turbine electrice, sonde, linii de fabricaţie, pompe etc.), care să permită desfăşurarea procesului de producţie fără participarea omului („automat").
2. Între instalaţia tehnologică (*IT*) şi dispozitivul de automatizare (*DA*) au loc legături de: măsurare, semnalizare, control, comandă, reglare etc.
3. *Scopul automatizării* este acela de a asigura desfăşurarea în cele mai bune condiţii a proceselor de producţie pe baza unui plan („program") stabilit de către om.
4. *Necesitatea şi avantajele automatizării producţiei* se concretizează în creşterea foarte mare a productivităţii muncii, deci a producţiei de bunuri materiale.
5. *Mecanizarea, automatizarea, telemecanizarea şi conducerea prin calculator* reprezintă faze succesive din ce în ce mai avansate în dezvoltarea nivelului tehnic al instalaţiilor tehnologice de producţie.
6. *Elementele sistemelor automate* cuprind atît părţile componente ale instalaţiei tehnologice, cît şi părţile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Automatizarea unui proces de producţie reprezintă:
   a) înlocuirea omului în funcţia de mecanizare a procesului?
   b) înlocuirea omului în funcţia de conducere a procesului?
   c) măsurarea automată a parametrilor din proces?

2. Prin sistem automat se înţelege:
   a) o instalaţie tehnologică mecanizată căreia i s-a introdus un calculator electronic?
   b) un sistem energetic care funcţionează singur?
   c) o instalaţie tehnologică căreia i s-a adăugat un dispozitiv de automatizare?
3. Un sistem de reglare automată cuprinde o dublă funcţie, şi anume:
   a) comandă + semnalizare?
   b) semnalizare + măsurare?
   c) măsurare + comandă?
4. Caracteristica dinamică a unui element reprezintă dependenţa între mărimea de ieşire şi cea de intrare:
   a) în regim de suprasarcină?
   b) în regim tranzitoriu?
   c) în regim de avarie?

Capitolul 2

TRADUCTOARE

A. NOŢIUNI GENERALE

1. Introducere

În scopul măsurării mărimilor fizice ce intervin într-un proces tehnologic, este necesară de obicei convertirea („traducerea") acestora în mărimi de altă natură fizică, care pot fi introduse cu uşurinţă într-un circuit de automatizare (de exemplu, o temperatură poate să influenţeze un circuit de automatizare numai dacă este convertită — tradusă — într-o tensiune electrică proporţională sau dependentă de temperatura respectivă).

Elementul care permite convertirea („traducerea") unei mărimi fizice — de obicei neelectrică — într-o altă mărime fizică — de obicei electrică — dependentă de prima, în scopul introducerii acesteia într-un circuit de automatizare se numeşte **traductor.**

În structura traductoarelor se întîlnesc, în general, o serie de subelemente constitutive, dintre care se vor analiza *convertoarele* şi *adaptoarele* (v. par. B şi C).

După cum va reieşi din exemplele următoare, structura generală a traductoarelor este foarte diferită de la un tip de traductor la altul,

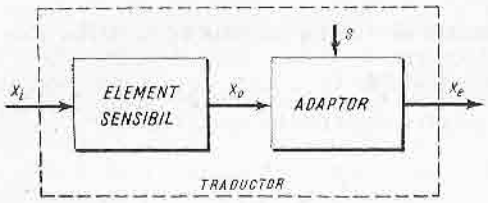


Fig. 2.1. Structura generală a unui traductor.

cuprinzînd unul, două sau mai multe convertoare conectate în serie. În majoritatea cazurilor, structura generală a unui traductor este cea din figura 2.1.

Mărimea de intrare X_i (de exemplu presiune, nivel, forță etc.), este convertită de elementul sensibil într-o mărime intermediară X_0 (de obicei, deplasare liniară sau rotire), care este transformată în mărimea de ieșire X_e (de obicei, tensiune electrică, rezistență, inductanță, capacitate) aplicată circuitului de automatizare cu ajutorul unui adaptor.

De obicei, adaptorul cuprinde și sursa de energie S (fig. 2.1), care face posibilă convertirea mărimii X_0 în mărimea X_e.

2. Caracteristicile generale ale traductoarelor

La un traductor, mărimea de intrare X_i și cea de ieșire X_e sînt de natură diferită, însă sînt legate între ele prin relația generală de dependență:

$$X_e = f(X_i), \qquad (2.1)$$

care poate fi o funcție liniară sau neliniară, cu variații continue sau discontinue (discrete).

Pe baza acestei relații de dependență se stabilesc următoarele caracteristici generale valabile pentru orice traductor:

— *natura fizică a mărimilor de intrare și de ieșire* (presiune, debit, temperatură, deplasare etc., respectiv rezistență electrică, curent, tensiune etc.);

— *puterea consumată la intrare și cea transmisă elementului următor (de sarcină)*. De obicei, puterea de intrare este relativ mică (cîțiva wați, miliwați sau chiar mai puțin) *, astfel încît elementul următor în schema de automatizare este aproape întotdeauna un amplificator;

— *caracteristica statică a traductorului*, care este reprezentarea grafică a relației (2.1) — (fig. 2.2);

* De exemplu, pentru acționarea unui electrometru electronic, în cazul măsurării pH-ului este suficientă o putere de 10^{-24} W.

— *sensibilitatea absolută* sau *panta* K_a, care este raportul dintre variația mărimii de ieșire ΔX_e și a mărimii de intrare ΔX_i (fig. 2.2);

$$K_a = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}; \qquad (2.2)$$

— *panta medie* (K_m), care se obține echivalînd caracteristica statică cu o dreaptă avînd coeficientul unghiular:

$$K_m = \operatorname{tg} \alpha \cong K_a. \qquad (2.3)$$

În acest caz, relația de traducere capătă forma:

$$X_e = K_m X_i + X_{e0}, \qquad (2.4)$$

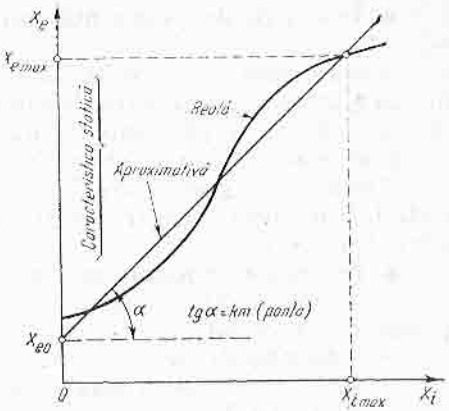


Fig. 2.2. Caracteristica statică a unui traductor.

în care X_{e0} este valoarea de gol a mărimii de ieșire (ieșirea, cînd intrarea este nulă);

— *domeniul de măsurare*, definit de pragurile superioare, de sensibilitate $X_{i\,max}$ și $X_{e\,max}$ și de cele inferioare $X_{i\,min}$ și $X_{e\,min}$;

— *zona de insensibilitate*, cuprinsă între două curbe limită. Traducerea nu este riguros univocă, adică pentru o valoare X_i a mărimii de intrare corespunde o plajă de valori ΔX_e ale mărimii de ieșire. Zona de insensibilitate constituie o sursă de erori și provine din cauza histerezisului magnetic sau mecanic (frecarea uscată), precum și a condițiilor de funcționare (temperatură, tensiune de alimentare, solicitări mecanice etc.);

— *eroarea absolută* ΔX_{ea}, adică diferența dintre valoarea reală a mărimii de ieșire și valoarea pentru care s-a făcut etalonarea;

— *eroarea relativă* e, adică raportul dintre eroarea absolută și valoarea mărimii de ieșire în punctul considerat;

$$e(\%) = \frac{\Delta X_{ea}}{X_e} \cdot 100. \qquad (2.5)$$

3. Clasificarea traductoarelor

Întrucît circuitele de automatizare sînt în general de natură electrică, mărimea de ieșire a traductoarelor este aproape exclusiv de natură electrică.

Clasificarea traductoarelor poate fi făcută în *funcție de natura mărimii de ieșire* X_e sau *în funcție de natura mărimii de intrare* X_i.

● **În funcție de natura mărimii electrice de la ieșire**(X_e), se deosebesc:

— *traductoare parametrice*, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric" (rezistență, inductanță sau capacitate). Traductoarele parametrice se împart deci la rîndul lor în: *traductoare rezistive*, *traductoare inductive* și *traductoare capacitive*;

— *traductoare generatoare*, la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare a cărei valoare depinde de valoarea mărimii respective.

● **În funcție de natura mărimii aplicate la intrare** (X_i), se disting:

— *traductoare de mărimi neelectrice* (temperatură, deplasare, debit, viteză, presiune etc.);

— *traductoare de mărimi electrice* (curent, frecvență, putere, fază etc.).

○ **Notă.** În practică, traductoarele sînt definite pe baza ambelor criterii arătate mai sus (de exemplu, traductor parametric rezistiv de temperatură). În figura 2.3 se prezintă o schemă generală de clasificare a traductoarelor uzuale.

● **În funcție de domeniul de variație al mărimii de ieșire,** traductoarele se clasifică în:

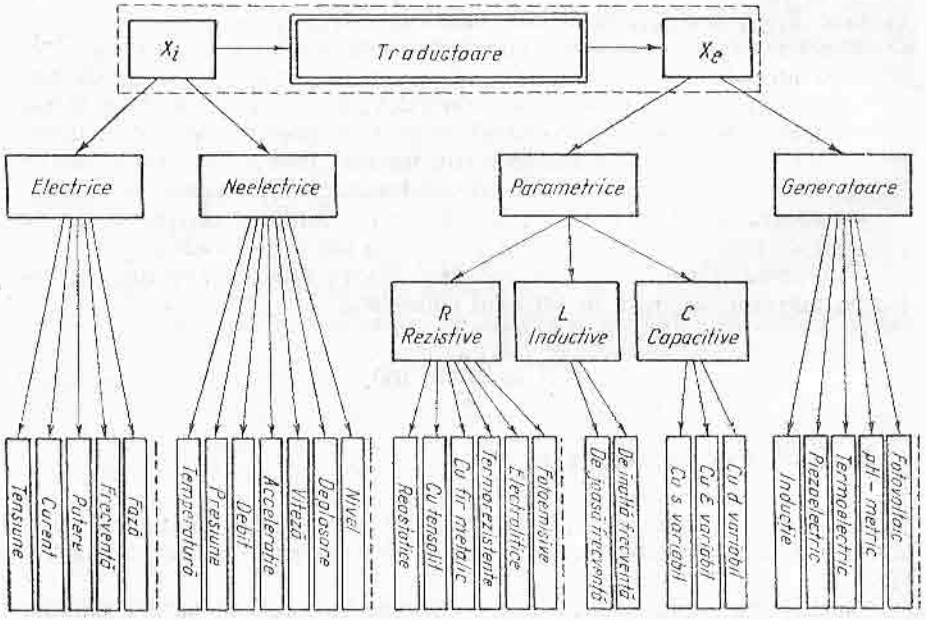


Fig. 2.3. Clasificarea traductoarelor.

— *traductoare unificate* — la care mărimea de ieșire reprezintă un semnal unificat electric (2—10 mAc.c.), sau pneumatic (0,2—1 kgf/cm²),

— *traductoare neunificate*.

B. CONVERTOARE

1. Introducere

Elementele de automatizare, ca dealtfel și multe alte elemente cunoscute în tehnică, cuprind în structura lor unul sau mai multe subelemente de „convertire", adică de transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta.

Pentru înțelegerea noțiunii de convertire a mărimilor, în figura 2.4 se prezintă cîteva **exemple de „convertoare"** frecvent întîlnite în tehnică.

● **Termometrul cu lichid** (fig. 2.4, *a*). Temperatura θ produsă de o sursă de căldură S influențează volumul V al lichidului (dilatare) care, ridicîndu-se în tubul capilar T, produce modificarea lungimii l (scară gradată). Deci temperatura θ este convertită într-un volum V, iar acesta — într-o lungime l:

$$\theta \rightarrow V; \quad V \rightarrow l, \quad \text{deci } \theta \rightarrow l. \tag{2.6}$$

În concluzie, se poate considera că un termometru cu lichid este un convertor cu ajutorul căruia o temperatură θ este convertită într-o lungime l prin două transformări (convertiri) intermediare.

● **Manometrul cu tub** (fig. 2.4, *b*). Presiunea P a unui fluid, acționînd asupra secțiunii s și a coloanei de mercur, este convertită într-o forță $F(F = P \cdot s)$, iar aceasta echilibrează greutatea coloanei de mercur de lungime l. Adică:

$$P \rightarrow F; \quad F \rightarrow l \quad \text{deci } P \rightarrow l. \tag{2.7}$$

● **Divizor de tensiune** (fig. 2.4, *c*). Tensiunea U_0 este convertită în curentul I determinat de rezistența totală $R_0\left(I = \frac{U_0}{R_0}\right)$, iar acesta produce tensiunea U pe rezistența parțială R $(U = RI)$:

$$U_0 \rightarrow I; \quad I \rightarrow U \quad \text{deci } U_0 \rightarrow U. \tag{2.8}$$

În automatică, noțiunea de convertor este atribuită unor subelemente realizate fie sub o formă independentă, fie incluse în structura unor elemente complexe (traductoare, regulatoare etc.) și care au, de exemplu,

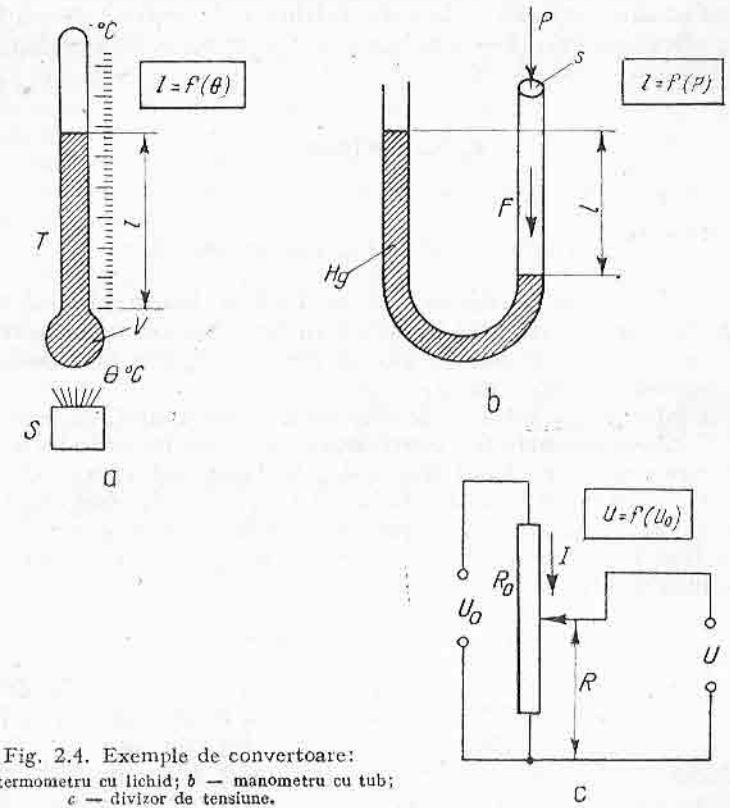


Fig. 2.4. Exemple de convertoare:
a — termometru cu lichid; *b* — manometru cu tub; *c* — divizor de tensiune.

rolul de a transforma un semnal unificat electric într-un semnal unificat pneumatic (convertor electropneumatic) sau o mărime analogică într-una numerică (convertor analog-numeric) etc.

2. Convertor curent-presiune

Convertorul curent-presiune fabricat de IEA, având indicativul de fabricație ELA 104, în cadrul sistemului E, permite transformarea semnalului unificat electric (2—10 mAc.c.) în semnal unificat pneumatic (0,2—1 kgf/cm²).

În structura acestuia intră **două elemente**, care asigură:
— *convertire curent-deplasare (electromagnet polarizat);*
— *convertire deplasare-presiune (sistem duză-paletă).*

Pentru o înțelegere ușoară vor fi descrise separat cele două convertoare constitutive.

● **Convertorul curent-deplasare.** *Electromagnetul polarizat* (fig. 2.5) este format din două miezuri identice M_1 și M_2 și o lamă L care oscilează în jurul punctului O, toate confecționate din material feromagnetic (oțel moale), precum și din magneții permanenți de polarizare P_1 și P_2 având polaritățile din figură. Lama L se găsește în interiorul unei bobine fixe B ale cărei spire sînt parcurse de curentul unificat i (mărimea de intrare x_i). Resortul R fixat la partea inferioară a lamei L este netensionat în poziția mediană a acesteia (fig. 2.5, *a*).

Dacă curentul este foarte mic, practic $i \cong 0$, asupra lamei mobile L acționează numai cîmpul de polarizare al magneților permanenți. Deoarece sistemul se află într-o poziție simetrică (întrefierurile $d_A = d_B = d_C = d_D$) iar fluxurile de polarizare Φ_p sînt egale, magneții P_1 și P_2 fiind identici, forțele electromagnetice (nefigurate) sînt egale și sistemul rămîne în această poziție mediană (fig. 2.5, *a*).

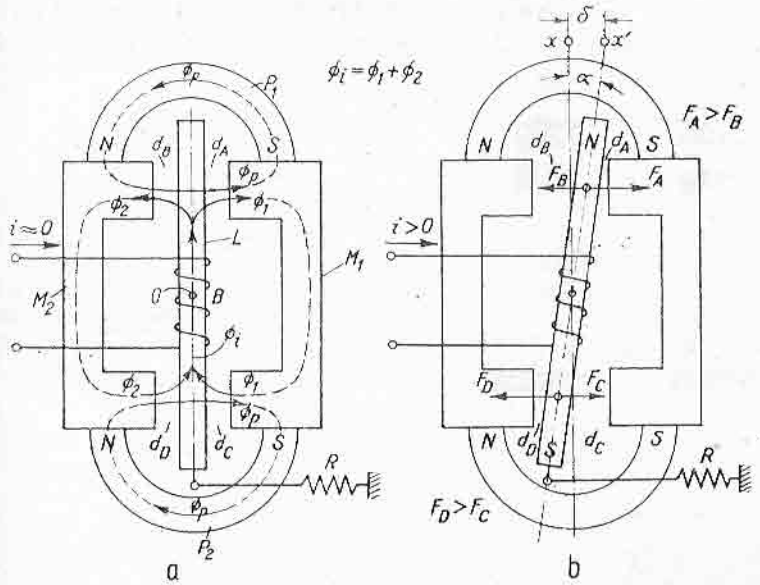


Fig. 2.5 Convertor curent-deplasare:
a — în poziție median ($i = 0$); *b* — în poziție de lucru ($i > 0$).

Dacă curentul i crește, avînd de exemplu o anumită polaritate, lama L devine un electromagnet avînd polaritatea indicată în figura 2.5, *b*.

Ca urmare, fluxul magnetic Φ_i produs de curentul i se va ramifica prin miezurile M_1 și M_2 sub forma unor fluxuri componente Φ_1 și Φ_2 care în întrefierurile d_A și d_D se vor însuma ($\Phi_p + \Phi_1$), respectiv $\Phi_p + \Phi_2$), iar în întrefierurile d_B și d_C se vor scădea ($\Phi_p - \Phi_2$, respectiv $\Phi_p - \Phi_1$) — figura 2.5, *a*.

În consecință, lama L se va roti în sens orar sub influența forțelor $F_A - F_B$ ($F_A > F_B$) și $F_D - F_C$, care sînt funcție de fluxurile magnetice aferente. Exprimat într-un mod mai simplu, se poate spune că electromagnetul, căpătînd polaritatea din figura 2.5, *b* (N sus și S jos) se va roti în sensul arătat mai înainte. Se ține seamă de faptul că polii de nume contrare se atrag (N cu S), iar cei de aceleași nume se resping (N cu N și S cu S).

Momentul activ al forțelor este echilibrat de momentul rezistent creat de resortul antagonist R, astfel că lama L ocupă o poziție bine definită, care se poate exprima prin unghiul α sau, ceea ce este tot același lucru, prin deplasarea unui punct de pe lama L din x în x' (fig. 2.5, *b*), unghiul sau deplasarea fiind proporționale cu curentul i.

● **Convertorul deplasare-presiune**. *Sistemul duză-paletă* (fig. 2.6, *a*) cuprinde o paletă obturatoare O, o duză D și un ajutaj A. Ajutajul este o strangulație (cu diametrul sub 0,5 mm) a secțiunii de trecere a aerului

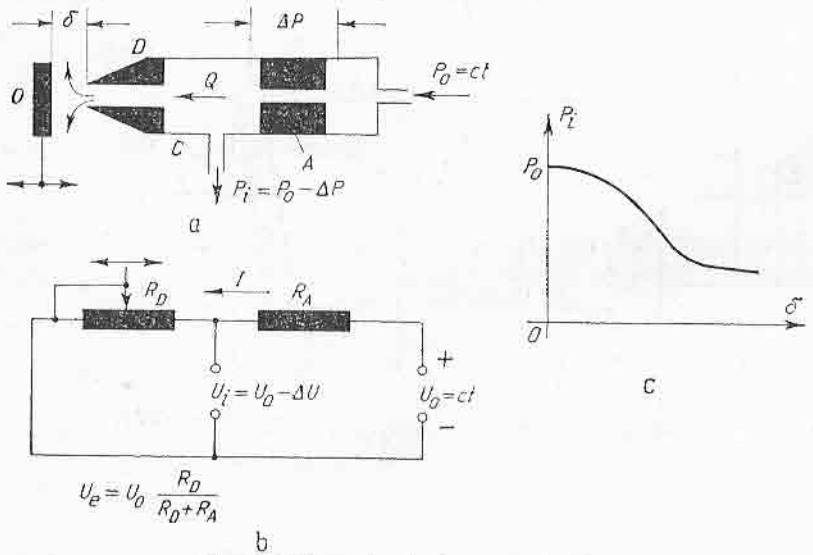


Fig. 2.6. Convertor deplasare-presiune:
a — sistemul duză-paletă; *b* — modelul electric al convertorului; *c* — caracteristica de convertire.

de la o sursă de aer comprimat de presiune constantă P_0, prin duza D în atmosferă sau prin conducta C spre utilizare (presiunea P_i).

În calea debitului de aer Q care vine de la sursă (P_0) spre atmosferă, ajutajul A se comportă ca o rezistență pneumatică fixă, producînd căderea de presiune ΔP, iar duza D — ca o rezistență pneumatică variabilă ce depinde de gradul de obturare al duzei, adică de distanța δ între duză și obturatorul O. Modelul electric al acestui sistem pneumatic este prezentat în figura 2.6, *b* și el permite prin analogie o înțelegere mai ușoară a modului de funcționare al sistemului duză-paletă.

Cînd $\delta = 0$, paleta obturează complet duza și rezistența pneumatică de ieșire a aerului în atmosferă este infinită ($R_D = \infty$). Ca urmare, debitul de aer Q este nul ($I = 0$), căderea de presiune ΔP este nulă ($\Delta U = 0$) și deci presiunea $P_i = P_0$ ($U_i = U_0$).

Cînd δ *crește*, rezistența pneumatică a duzei scade (R_D scade), debitul de aer Q crește (I crește); căderea de presiune ΔP va crește (ΔU crește), deci presiunea remanentă P_i va scădea (U_i scade). Rezultă deci că la scăderea deplasării δ, presiunea P_i va crește.

Caracteristica de convertire a deplasării δ în presiunea P_i este prezentată în figura 2.6, *c*.

Convertorul curent-presiune tip ELA 104 este alcătuit din elementele descrise mai sus. El este prezentat într-o formă principială în figura 2.7.

Lama mobilă L a convertorului curent-deplasare este solidară cu obturatorul O al convertorului deplasare-presiune.

Conform celor arătate mai sus, cînd curentul i (mărimea de intrare x_i) va crește, obturatorul se va apropia de duză și presiunea P_i va crește.

Presiunea P_i este aplicată unui amplificator pneumatic de putere F (v. fig. 3.6) care scoate o presiune P_e (mărimea de ieșire x_e) de valoare unificată (0,2—1 kgf/cm²).

Presiunea de ieșire P_e este aplicată și convertorului presiune-deplasare N (realizat sub forma unui burduf din alamă cu pereții ondulați), care asigură o „reacție negativă" (v. fig. 3.3) — o legătură inversă de la ieșire la intrare — necesară îmbunătățirii funcționării convertorului curent-presiune.

C. ADAPTOARE

1. Introducere

Pentru realizarea unei anumite funcții de automatizare, elementele sistemelor automate se leagă între ele sub forma unor „lanțuri" sau „bucle", astfel că mărimea de ieșire dintr-un element trebuie să fie egală cu cea de intrare în elementul următor ș.a.m.d. Dacă această condiție nu

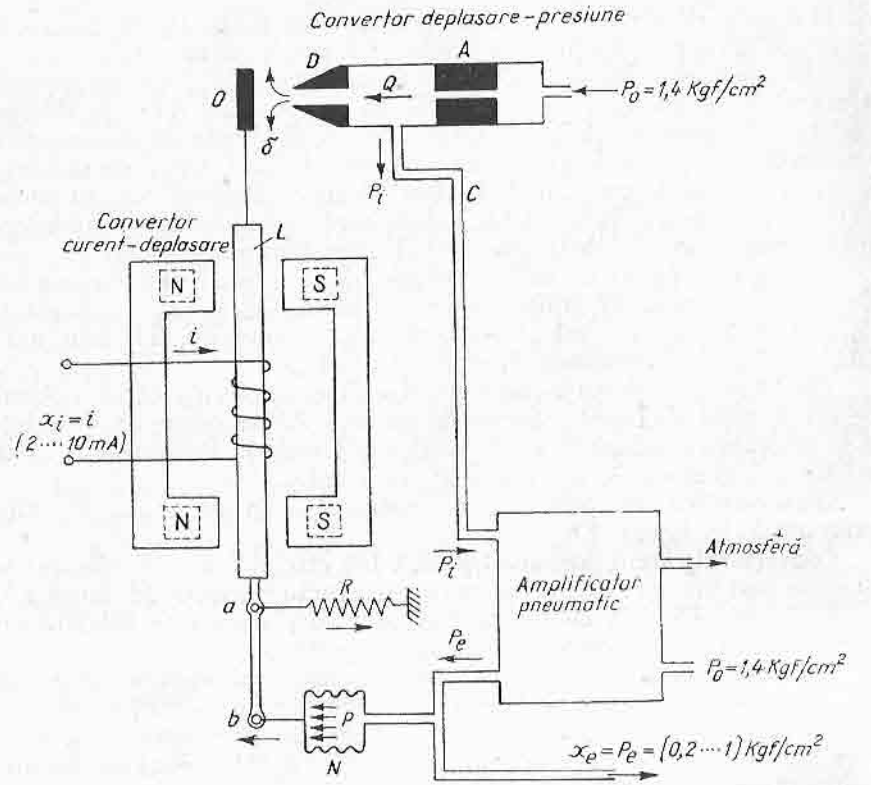


Fig. 2.5. Convertor curent-presiune tip ELA 104.

este îndeplinită, trebuie prevăzute elemente speciale numite *adaptoare*, care să „adapteze" elementele respective între ele.

Așadar, **adaptoarele** constituie o *clasă specială de convertoare care au rolul de a adapta între ele elemente aferente sistemelor automate.*

În cazul particular al sistemelor unificate (de exemplu sistemul unificat E — IEA), adaptoarele au rolul de a converti o mărime de ieșire oarecare într-un semnal unificat.

2. Adaptor deplasare-curent

Acest tip de adaptor este frecvent folosit în sistemul E (IEA), avînd indicativul de fabricație ELT 370 și fiind utilizat în construcția unor traductoare de presiune, de nivel, de debit etc.

Schema de principiu a adaptorului deplasare-curent este prezentată în figura 2.8.

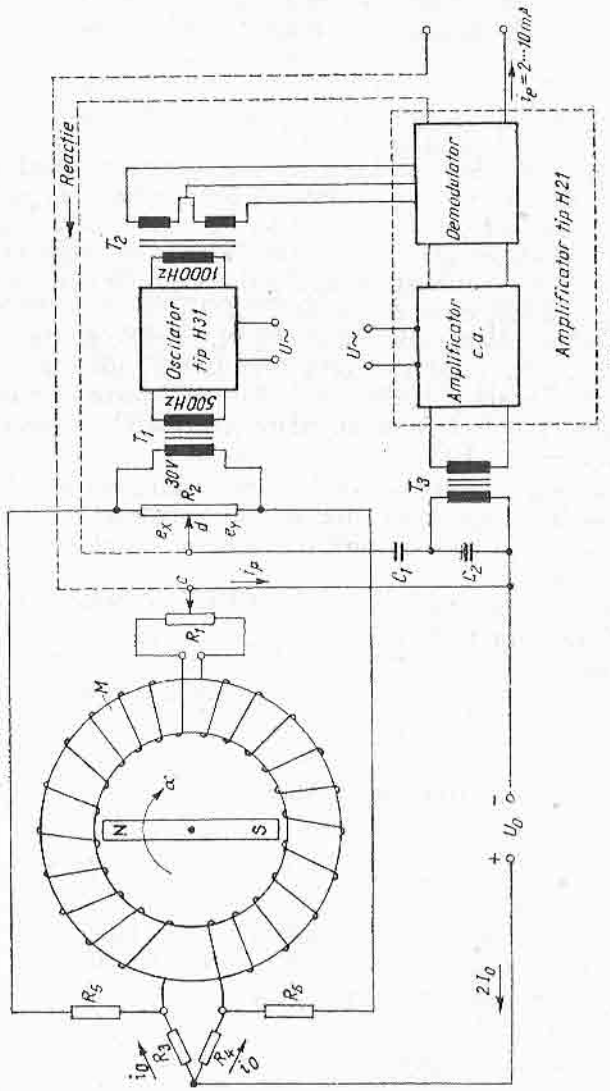


Fig. 2.8. Adaptor deplasare unghiulară-curent tip ELT 370.

Adaptorul deplasare-curent folosește principiul convertirii unei deplasări mecanice (rotire) într-un semnal alternativ a cărui amplitudine este proporțională cu unghiul de rotire α (fig. 2.8). În acest scop se folosește un modulator magnetic M avînd un element mobil de polarizare realizat sub forma unui magnet permanent N-S.

În poziția inițială — verticală — intrarea este nulă ($\alpha = 0$) miezul M este perfect simetric și deci curentul i_p este zero, caz în care la ieșire se obține $i_e = 2$ mAc.c. („zero viu").

Cînd unghiul de intrare α crește, va crește proporțional și curentul i_p care este aplicat prin transformatorul de adaptare T_3 unui amplificator tip H21. Acesta din urmă este format dintr-un amplificator de c.a. și un demodulator la ieșirea căruia se obține semnalul unificat $i_e = 2 \ldots 10$ mA corespunzător domeniului maxim de variație a unghiului, care în cazul adaptorului respectiv (ELT 370) este de 16°.

Un oscilator, de asemenea tipizat (IEA tip H 31), produce tensiunea de 500 Hz care, prin transformatorul de izolare T_1 alimentează modulatorul magnetic, precum și tensiunea de 1 000 Hz, care prin transformatorul T_2 asigură procesul de demodulare (redresare) din amplificatorul H 21 (v. cap. 3 — fig. 3.5).

Curentul de ieșire i_e este adus printr-un circuit „de reacție" (v. cap. 3, fig. 3.3) înapoi la ieșirea modulatorului, în punctele c și d (fig. 2.8 — indicat punctat), fapt care asigură o funcționare stabilă a adaptorului în ansamblul său.

Impedanța de ieșire a adaptorului tip ELT 370 este de 3 kΩ.

Adaptorul IEA tip ELT 310 folosit pentru deplasare liniară-curent este practic adaptorul ELT 370, la care s-a mai adăugat la intrare un convertor mecanic ce transformă mișcarea liniară în mișcare circulară.

3. Adaptor tensiune (rezistență) -curent

Aceste tipuri de adaptoare (fig. 2.9) fabricate de IEA sînt realizate în două variante constructive:

— *adaptoare tensiune-curent tip ELT 160* — folosite de obicei în construcția traductoarelor generatoare (v. par. D5, D6 și D7);

— *adaptoare rezistență-curent tip ELT 161* — folosite în construcția traductoarelor parametrice rezistive (v. par. D1).

În ambele cazuri, adaptorul comportă un *bloc de gamă* (fig. 2.10), care are rolul de a converti o mărime electrică — tensiune electrică U_d (fig. 2.10, *a*) sau rezistență electrică R_R (fig. 10, *b*) într-un curent continuu de valoare unificată $i = \pm$ μA.

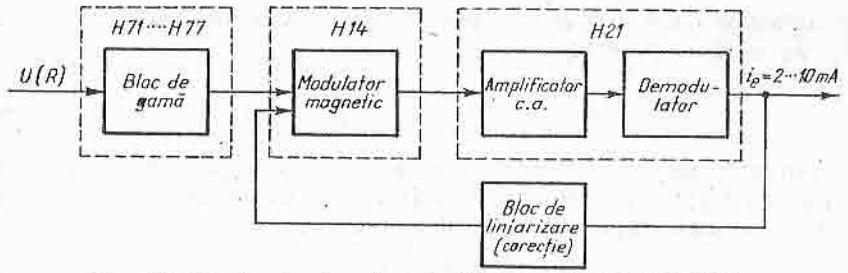


Fig. 2.9. Adaptor tensiune (rezistență)-curent tip ELT 160 (161).

În ambele cazuri, funcționarea are loc pe baza punții Wheatstone dezechilibrate, formate din rezistențele R_1, R_2, R_3 și R_4.

● **Adaptoare tensiune-curent** (fig. 2.10, *a*). Blocul de gamă este alimentat cu tensiunea U_d de la elementul sensibil al unui „traductor generator" (v. cap. 2, par. D), care a produs convertirea mărimii măsurate într-o tensiune variabilă. Tensiunea U_{ab} de dezechilibru a punții depinde de tensiunea U, respectiv de tensiunea stabilizată U_s

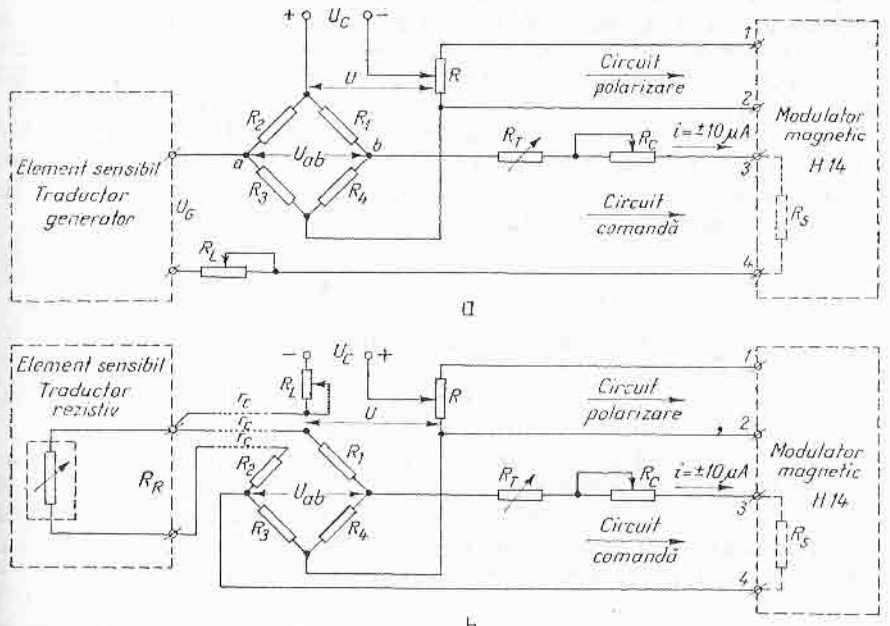


Fig. 2.10. Bloc de gamă:
a — pentru convertirea tensiunii; *b* — pentru convertirea rezistenței.

(stabilizator IEA tip H 55), precum și de valorile rezistențelor R_1, R_2, R_3 și R_4 după relația:

$$U_{ab} = U \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{R_2(R_1 + R_4) + R_3(R_1 + R_4)}. \quad (2.9)$$

Ținînd seamă de faptul că tensiunea U_{ab} obținută de la punte și tensiunea U_G; de la elementul sensibil al traductorului, sînt conectate în serie, rezultă expresia curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_G + U_{ab}}{R_T + R_S + R_C + R_L}, \quad (2.10)$$

în care:

R_T este rezistența unui „termistor" (v. cap. 2, par. D.1) care compensează erorile de măsurare datorate variațiilor de temperatură ale mediului ambiant;

R_S — rezistența de sarcină (rezistența de intrare a modulatorului magnetic);

R_C — rezistența de compensare * a sarcinii (ieșire);

R_L — rezistența de compensare * a liniei (intrare).

Prin alegerea convenabilă a valorilor rezistențelor R_1, R_2, R_3 și R_4, se poate obține la ieșire același semnal standard $i = \pm 10$ μA pentru diverse valori ale tensiunii U_G obținute de la elementul sensibil al traductorului.

● **Adaptoare rezistență-curent** (fig. 2.10, *b*). Ieșirea elementului sensibil (rezistența R_R) este conectată într-un braț al punții format din rezistența R_2, rezistența cablului de legătură r_c și rezistența R_R. În acest caz, tensiunea de dezechilibru U_{ab} este dată de expresia:

$$U_{ab} = \frac{(R_1 + r_c)R_3 - (R_2 + r_c + R_R)R_4}{(R_2 + r_c + R_R)(R_1 + r_c + R_4) + R_3(R_1 + r_c + R_4)} U. \quad (2.11)$$

Rezultă implicit că valoarea curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_{ab}}{R_T + R_C + R_S}, \quad (2.12)$$

(R_T, R_C și R_S avînd semnificațiile de mai sus) va depinde de valoarea R_R a rezistenței traductorului.

Ca și în cazul precedent, prin alegerea convenabilă a rezistențelor punții se poate obține la ieșirea blocului de gamă același semnal standard $i = \pm 10$ μA, pentru diverse valori ale rezistenței R_R.

* De exemplu, dacă rezistența calculată pentru elementul respectiv este de 20 Ω, iar în realitate, pentru un anumit caz, rezistența este 14 Ω, rezistența de „completare" pînă la 20 Ω (6 Ω) reprezintă *rezistența de compensare*.

Convertorul tensiune (rezistență) — curent cuprinde un sistem de amplificare a curentului continuu de la $i = \pm 10$ μA la semnalul unificat $i_e = 2 \ldots 10$ mAc.c.

Structura sistemului de amplificare electronic va fi prezentat în cadrul capitolului 3.

D. TIPURI DE TRADUCTOARE

1. Traductoare rezistive

Traductoarele rezistive sînt acelea care funcționează pe baza variației rezistenței unui rezistor în funcție de mărimea de măsurat, *mărimea de ieșire fiind deci o rezistență electrică.*

Mărimea de intrare produce modificarea unuia (sau a mai multora) dintre parametrii care intervin în relația:

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega], \quad (2.13)$$

care dă valoarea rezistenței și în care:

ρ este rezistivitatea [$\Omega \cdot mm^2/m$];

l — lungimea [m].

s — secțiunea [mm^2].

Din relația de mai sus se observă că rezistența R crește proporțional cu creșterea rezistivității ρ și a lungimii l și cu scăderea secțiunii s, adică:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s}. \quad (2.14)$$

a. Traductoare reostatice

Traductoarele reostatice sînt cele mai răspîndite traductoare rezistive, fiind realizate sub forma unor reostate speciale al căror cursor este deplasat de mărimea de măsurat. *Variația rezistenței se realizează* deci *prin varierea lungimii l a rezistorului* (reostatului). Traductoarele reostatice se utilizează pentru măsurarea deplasării liniare *d* sau a altor mărimi care, la rîndul lor, sînt transformate în deplasare.

Un traductor reostatic este prezentat schematic întocmai ca un reostat.

● În figura 2.11 se prezintă ca exemplu un **traductor reostatic de presiune.**

BIBLIOTECA PERSONALA

Presiunea de măsurat P este aplicată unui burduf metalic special B (capsulă manometrică), care reprezintă de fapt elementul sensibil al traductorului și care se deplasează în sus, pe măsură ce presiunea crește, deplasînd prin tija T cursorul reostatului R. Așadar, rezistența R_x obținută între bornele c și a va crește odată cu creșterea presiunii. Pentru a pune în evidență variația rezistenței R, deci a presiunii P, se realizează un circuit electric ca cel din figură, și anume: rezistenței totale R_0 i se aplică o tensiune constantă U_0, iar voltmetrul V este legat „potențiometric" între bornele c și a (pe rezistența R_x). În consecință, voltmetrul V va indica tensiunea U_x, proporțională cu rezistența R_x, deci cu deplasarea d, care la rîndul său depinde de presiunea P. Scara voltmetrului este gradată direct în unități de măsură ale presiunii (atm).

b. Traductoare termorezistive

Traductoarele termorezistive, sau cum se mai numesc, *termorezistențele*, sînt rezistoare sensibile la temperatură, confecționate din materiale conductoare sau semiconductoare a căror rezistivitate ρ variază cu temperatura. Prin urmare, *variația rezistenței se realizează* de această dată *prin variația rezistivității*.

● **Termorezistențele conductoare** (metalice) sînt confecționate din metale pure, cum sînt: fierul, cuprul, nichelul sau platina, avînd coeficientul de temperatură cuprins între $3{,}7 \cdot 10^{-3}$ și $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ 1/°C. Aceasta înseamnă că la o creștere a temperaturii de 100°C rezistența materialului crește cu 37—65%.

Variația rezistenței metalelor în funcție de temperatură este liniară pentru temperaturi de 100—200°C, fiind exprimată prin relația:

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta\theta), \qquad (2.15)$$

în care:

R_t este valoarea finală a rezistenței (Ω);

R_0 — valoarea inițială a rezistenței (Ω);

$\Delta\theta$ — variația de temperatură (°C);

α — sensibilitatea relativă, 1/°C.

● **Termorezistențele semiconductoare,** numite și *termistoare,* sînt confecționate prin presare din oxizii, carburile sau sulfurile unor metale ca: nichel, cupru, plumb, magneziu etc. Rezistivitatea acestor materiale este incomparabil mai mare decît cea a metalelor (de 10^{10} ... 10^{12} ori mai mare), însă, spre deosebire de metale, rezistența termistoarelor R_T scade cu creșterea temperaturii.

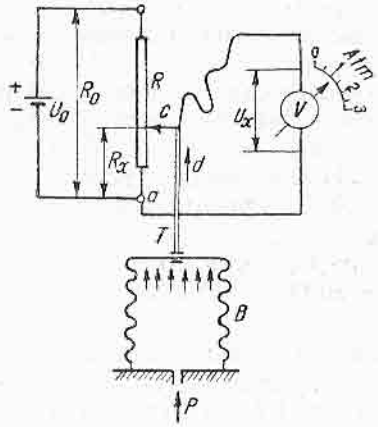


Fig. 2.11. Traductor reostatic de presiune.

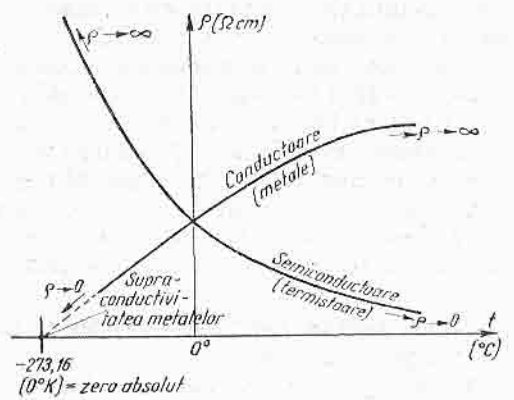


Fig. 2.12. Variația rezistivității termorezistențelor.

○ **Observație.** La 0K (zero absolut) rezistivitatea termistoarelor devine infinită, în timp ce rezistivitatea conductoarelor devine zero (fenomenul de „supraconductivitate").

În figura 2.12 este prezentată variația rezistenței unei termorezistențe conductoare și a unor semiconductoare în funcție de temperatură. În cazul termorezistențelor semiconductoare, variația este incomparabil mai mare decît în cazul termorezistențelor conductoare, mai ales în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius. Din acest motiv, termistoarele sînt folosite mai ales pentru măsurarea temperaturilor joase. De exemplu, pentru o încălzire de la 0°C la 100°C, o termorezistență dată, confecționată din cupru (conductor), își variază rezistența de la 100 Ω la 140 Ω , în timp ce alta din oxid cupros (cuproxid) — care este semiconductor — scade de la 100 Ω la 5 Ω.

Aceste proprietăți ale termorezistențelor (metalice sau semiconductoare) fac posibilă folosirea lor ca elemente sensibile în realizarea traductoarelor.

● **Termorezistențele folosite la termometre.** Termorezistențele termometrelor se construiesc fie din conductoare (metalice), fie din semiconductoare (termistoare). În ambele cazuri, curentul de măsurare I_0 se alege suficient de mic astfel ca să nu producă încălzirea acestora prin efect Joule-Lenz.

Rezistențele metalice se confecționează de obicei din sîrmă de cupru, nichel sau platină cu diametre de circa 0,1 mm și de lungimi care să asigure rezistențe normale de 50 sau 100 Ω.

Sîrma se bobinează pe carcase de mică, porțelan sau cuarț și uneori, cînd mediul de măsurare este „agresiv" (atacă materialul termorezistenței), se introduc în teci metalice de protecție.

Termometrele cu termistoare au valori nominale cuprinse între 1 000 Ω și 200 000 Ω și sînt utilizate în special în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius, datorită sensibilității mari a acestora (v. fig. 2.12).

Termorezistențele de cupru fabricate la IEA se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în domeniul 0 — 120 °C și prezintă în acest domeniu o variație liniară cu temperatura.

Termorezistențele de platină fabricate la IEA sînt utilizate pentru măsurarea temperaturilor cuprinse între —200°C și +500°C.

Toate **termorezistențele fabricate la IEA** sînt utilizate ca traductoare de temperatură unificate (fig. 2.13) prin cuplarea lor cu adaptoare formate din blocuri de gamă (v. fig. 2.10) tip H 72 (o termorezistență) sau tip H 77 (două termorezistențe) și cu amplificator cu modulator tip ELT 160 (v. fig. 2.9). Se obține astfel la ieșire un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c. corespunzător domeniului de variație al temperaturii.

c. Traductoare electrolitice

Traductoarele electrolitice sînt de asemenea traductoare rezistive și permit măsurarea concentrației electroliticilor pe baza măsurării conductivității (rezistivității) electrice a acestora.

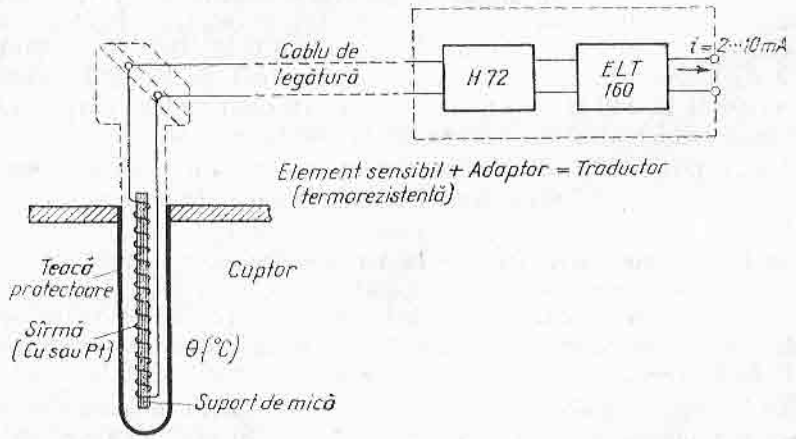


Fig. 2.13. Traductor termorezistiv de temperatură.

Elementul sensibil al unui traductor electrolitic este realizat în principiu sub forma a doi electrozi plan-paraleli E_1 și E_2 (fig. 2.14), asemănători unui condensator plan, printre care trece soluția a cărei concentrație c trebuie măsurată.

○ **Observație.** Întregul ansamblu constituie de fapt o rezistență lichidă de formă paralelipipedică de lungime l_0 (cm) și secțiune s_0 (cm²).

Prin măsurarea rezistenței necunoscute R_x se măsoară implicit conductivitatea necunoscută $\sigma_x \left(\frac{1}{\Omega cm}\right)$:

$$R_x = \frac{1}{\sigma_x} \cdot \frac{l_0}{s_0}, \tag{2.16}$$

deci:

$$\sigma_x = \frac{1}{R_x} \cdot \frac{l_0}{s_0}. \tag{2.17}$$

Deoarece conductivitatea σ_x depinde după o anumită lege de concentrația c a soluției:

$$\sigma_x = f_1(c), \tag{2.18}$$

relația devine:

$$R_x = f_2(c). \tag{2.19}$$

În figura 2.15 este prezentată dependența $\sigma = f(c)$ pentru diferite soluții (la temperatura $\theta = 18$°C).

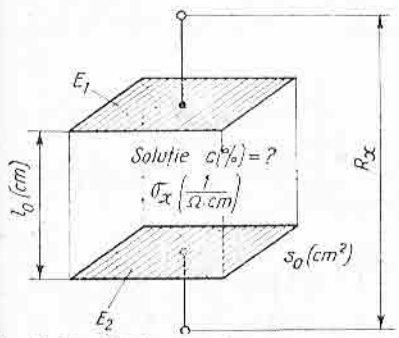


Fig. 2.14. Celula traductorului electrolitic.

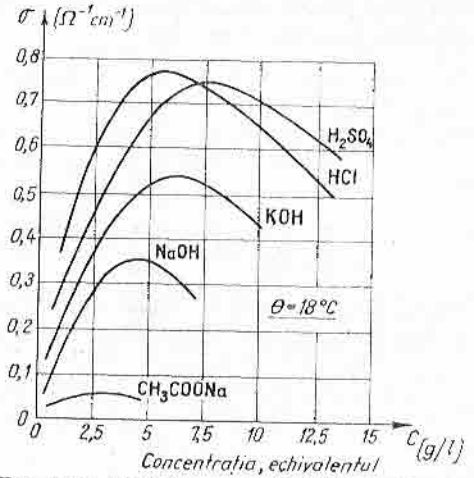


Fig. 2.15. Variația conductivității în funcție de concentrația electroliticilor.

Traductorul electrolitic de concentrație (traductor electroconductometric) **fabricat de IEA, tip W 16. ELT. 730** este destinat măsurării concentrației soluțiilor de acid sulfuric, de sodă caustică etc. Elementul sensibil W 16 este format dintr-o „celulă" de măsurare (fig. 2.16) avînd forma unui corp de ventil cu flanșe pentru a fi racordat în circuitul unei conducte.

În interiorul celulei se află doi electrozi de platină care determină împreună cu lichidul de analizat ce circulă prin conductă rezistența necunoscută R_x. Rezistența R_x înseriată cu rezistența „de balast" r este alimentată în diagonala AB a unei punți Weatstone dezechilibrate formate din rezistențele R_1, R_2, R_3 și R_c. Rezistența R_c este de fapt o termorezistență și este plasată chiar în soluție.

Puntea este alimentată în diagonala CD cu o tensiune constantă $U_0 = 1$ V la o frecvență de 4 kHz (oscilator). Tensiunea U_x care apare la bornele rezistenței R_x este dată de expresia:

$$U_x = \frac{U_{AB}}{r + R_x} \cdot R_x. \qquad (2.20)$$

La temperatură constantă, termorezistența R_c are valoare constantă, puntea prezintă un anumit grad de dezechilibru și, deoarece U_0 este constant, rezultă că și U_{AB} este constant:

$$U_{AB} = U_0 \frac{R_2 R_c - R_1 R_3}{(R_1 + R_c)(R_2 + R_3)}. \qquad (2.21)$$

Ținînd seamă de relațiile (2.20) și (2.21), se poate deduce că la temperatură constantă rezultă:

$$U_x = f_3(R_x). \qquad (2.22)$$

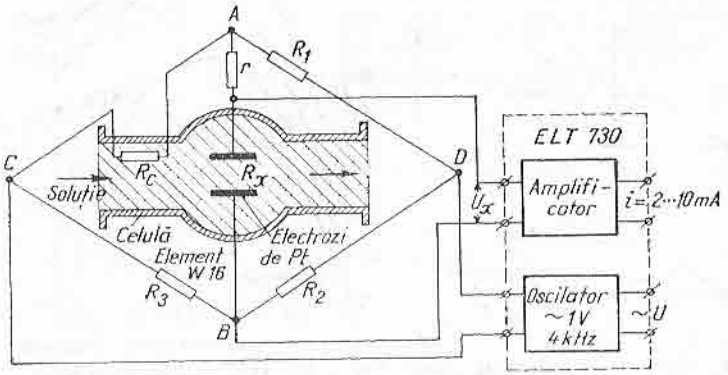


Fig. 2.16. Traductor electroconductometric.

Tensiunea U_x proporțională cu rezistența măsurată R_x este amplificată, fiind transformată în semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c. cu ajutorul adaptorului tip ELT 730 (care conține și oscilatorul).

În cazul în care concentrația soluției rămîne neschimbată însă i se modifică temperatura θ, conductivitatea σ_x se modifică în sensul că crește cu temperatura la o valoare σ'_x, după o lege liniară:

$$\sigma'_x = \sigma_x(1 + \gamma \cdot \Delta\theta), \qquad (2.23)$$

în care $\Delta\theta$ este variația de temperatură față de situația anterioară;

γ — coeficientul de variație a conductivității.

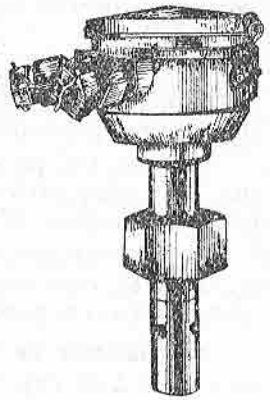


Fig. 2.17. Element sensibil electroconductometric tip W. 44.

Ca urmare (în cazul creșterii temperaturii) R_x scade la o valoare R'_x ceea ce ar avea ca efect o scădere a tensiunii U_x, deci o eroare de măsurare. În acest caz intervine termorezistența „de compensare" R_c care crescînd cu temperatura ($R'_c > R_c$) produce creșterea tensiunii $U_{AB}(U'_{AB} > U_{AB})$ — v. relația (2.21) — astfel că relația (2.20) devine:

$$U_x = \frac{U'_{AB}}{r + R'_x} \cdot R'_x = \text{constant}, \qquad (2.24)$$

adică tensiunea U_x rămîne neschimbată dacă concentrația nu s-a modificat.

La IEA se mai fabrică și o **altă variantă** de element sensibil („detector electroconductometric") **numit W 44**, realizat sub forma unei „sonde" (se poate introduce printr-un orificiu într-o conductă) prevăzută cu găuri, în interiorul căreia se află atît electrozii pentru constituirea rezistenței R_x, cît și rezistența de compensare R_c (fig. 2.17).

2. Traductoare inductive

Principial, un **traductor inductiv** este *acela la care mărimea de măsurat este transformată într-o inductanță variabilă proporțională cu mărimea respectivă.*

În categoria traductoarelor inductive se încadrează în special acele traductoare care folosesc adaptorul deplasare-curent IEA tip ELT 370 (v. fig. 2.8).

Se dau mai jos cîteva exemple de traductoare inductive tip IEA sau, mai bine spus, modul principial de realizare a unor elemente sensibile

care sînt folosite în combinație cu adaptorul deplasare-curent tip ELT 370.

● **Traductor de presiune cu tub Bourdon** (tip AT10). Elementul sensibil al traductorului de presiune este un tub Bourdon T (fig. 2.18, *a*) care sub acțiunea presiunii de măsurat P tinde să se îndrepte (poziția punctat).

Cu creșterea presiunii P aplicate, punctul *a* din capătul liber al tubului se îndepărtează (de exemplu în *a'*), astfel că prin intermediul bielei B manivela M este rotită în jurul punctului *c* cu unghiul α.

Rotirea este aplicată modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 (v. fig. 2.8), care produce la ieșire semnalul unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c. proporțional cu presiunea P.

● **Traductor de presiune cu membrană de separație.** În cazul în care fluidul de măsurat conține impurități care s-ar depune înfundînd tubul Bourdon, se folosește un traductor cu membrană de separație tip MS 100. Acest element suplimentar este format dintr-o capsulă manometrică C (fig. 2.18, *b*) prevăzută cu membrana elastică S. Presiunea de măsurat P se aplică în acest caz la orificiul O_3 și acționînd asupra membranei elastice comprimă lichidul de separare din cealaltă parte, care de obicei este ulei. Orificiul O_2 al capsulei fiind racordat printr-un tub la orificiul O_1 al tubului Bourdon (fig. 2.18, *a*), presiunea respectivă este transmisă indirect elementului sensibil descris în paragraful precedent, funcționarea avînd loc așa cum s-a arătat. Traductorul

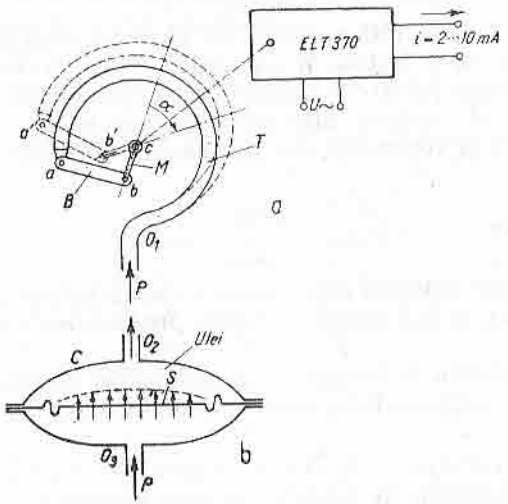


Fig. 2.18. Traductor de presiune cu tub Bourdon: *a* — schema funcțională; *b* — membrana de separație.

cu membrană de separație tip IEA poartă indicativul AT 10 ELT 370 MS 100.

● **Traductor de presiune cu capsulă.** Acest traductor, numit AT 20 ELT 370, cuprinde un element sensibil realizat sub forma unei capsule C (fig. 2.19) cu pereți din tablă subțire ondulată. Partea posterioară fiind rigidizată prin discul metalic D, fluidul introdus la presiunea P deformează peretele anterior al capsulei acționînd asupra brațului B. Brațul respectiv, asupra căruia acționează și resortul antagonist R, transformă deplasarea liniară a capsulei într-o rotire α a axului A. Solidar cu acest ax, al cărui unghi α ($\alpha = 0 \ldots 16°$) este proporțional cu presiunea P, se află rotorul modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 care produce în final un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c.

Traductorul este folosit pentru măsurarea presiunilor mici (0—1kgf/cm²).

● **Traductor de presiune diferențială cu burdufuri.** Elementul sensibil al traductorului este format dintr-o capsulă închisă M (fig. 2.20, *a*) în care, prin peretele de separare D, se creează două compartimente C_1 și C_2, alimentate cu presiunile P_1, respectiv P_2. Cele două presiuni, a căror diferență ($\Delta P = P_1 - P_2$) trebuie măsurată, acționează asupra unor burdufuri B_1 și B_2 rigidizate între ele prin tija T și care sprijinindu-se fiecare pe peretele despărțitor acționează ca niște resoarte spirale la deplasarea lor (B_1 se comprimă, iar B_2 se întinde). Cele două burdufuri fiind identice, forța rezultantă ΔF creată de cele două presiuni va fi proporțională cu diferența presiunilor respective:

$$\Delta F = F_1 - F_2 = S(P_1 - P_2) = S \cdot \Delta P, \qquad (2.25)$$

în care:

S este suprafața burdufurilor;
F_1, F_2 — forțele produse de presiuni asupra burdufurilor.

În acest fel, deplasarea longitudinală d a tijei va fi proporțională cu forța ΔF, deci cu presiunea diferențială ΔP.

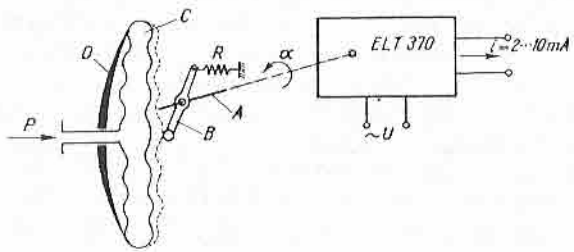


Fig. 2.19. Traductor de presiune cu capsulă.

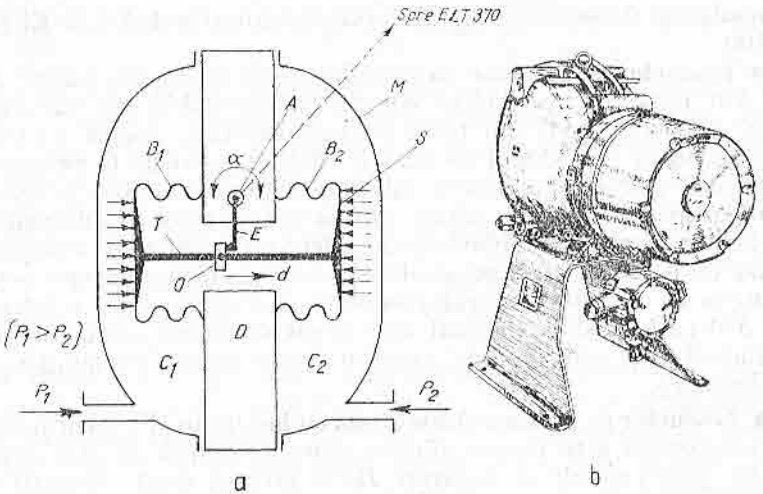


Fig. 2.20. Traductor de presiune diferențială tip AT 30 — ELT 370:
a — schema funcțională; *b* — aspectul exterior.

Tija T, prevăzută cu opritorul reglabil O, acționează asupra manivelei rotind axul A cu unghiul α. În acest mod se transformă deplasarea d (proporțională cu ΔP) într-un unghi α și, deoarece axul A este solidar cu modulatorul magnetic din adaptorul ELT 370, se obține un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c. proporțional cu diferența presiunilor. În figura 2.20, *b* este prezentat aspectul exterior al acestui traductor, denumit AT 30 ELT 370.

● **Traductor de nivel cu plutitor.** La traductorul de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370, elementul sensibil tip AT 50 este format dintr-un vas cilindric V (fig. 2.21, *a*), racordat la rezervorul cu lichid al cărui nivel H trebuie măsurat. În interiorul vasului se află plutitorul P (imersor) suspendat de un resort R și articulat cu brațul B (manivelă) solidar cu axul de rotire A. Variațiile nivelului H produc deplasarea d a plutitorului, deci rotirea cu unghiul α a axului A. Mișcarea de rotație α este transmisă adaptorului ELT 370 și se obține un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mAc.c. proporțional cu nivelul H.

○ **Observație.** Variația deplasării $d(\Delta d)$ a imersorului este mai mică decît variația nivelului de lichid (ΔH), datorită existenței resortului antagonist R. În adevăr, pe măsură ce nivelul H coboară, resortul antagonist R se întinde și, mărindu-și forța de suspensie, face ca imersorul P să iasă mai mult afară din lichid (fig. 2.21, *b*) — își „pierde" mai puțin din greutate.

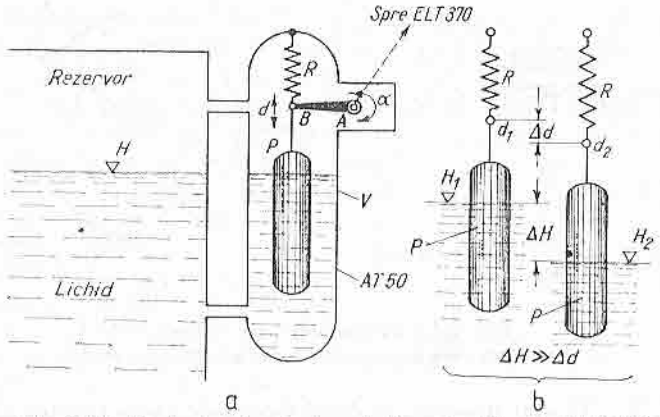


Fig. 2.21. Traductor de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370.

3. Traductoare capacitive

Funcționarea **traductoarelor parametrice capacitive** se bazează pe *variația capacității unor condensatoare speciale de diverse forme, sub influența unei mărimi de măsurat.*

Indiferent de tipul de element sensibil folosit, capacitatea variabilă C_x obținută se introduce într-un circuit de măsurare, ca de exemplu într-o punte de capacități sau, în cazul general, se leagă la un convertor (adaptor) capacitate-curent (tensiune).

În cazul cel mai simplu, capacitatea se leagă în serie cu un ampermetru A (fig. 2.22) alimentat de o tensiune alternativă U_x. Neglijînd rezistența circuitului, valoarea curentului I_x din circuit va fi:

$$I_x = C_x \ \omega \ U, \tag{2.26}$$

unde ω este pulsația tensiunii alternative.

În cele ce urmează vor fi definite ca traductoare capacitive numai elementele sensibile ale traductoarelor respective (de exemplu, deplasare-capacitate), convertirea capacitate-curent fiind o problemă simplă de electrotehnică.

Evidențierea capacității variabile va fi indicată prin notația C_x la bornele la care se obține capacitatea respectivă.

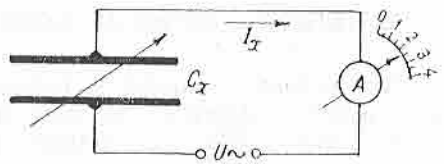


Fig. 2.22. Schema de măsurare cu traductor capacitiv.

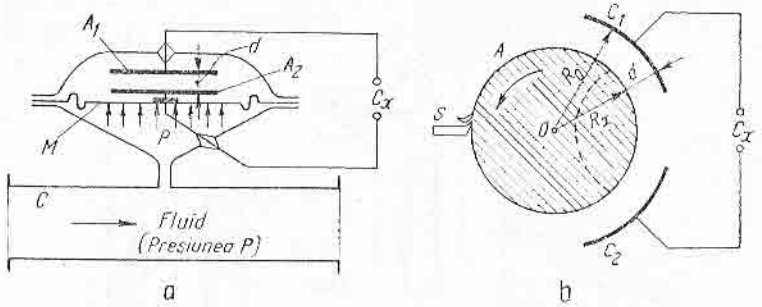


Fig. 2.23. Traductoare capacitive:
a — pentru măsurarea presiunii; *b* — pentru măsurarea diametrului.

În figura 2.23 sînt prezentate două tipuri de elemente sensibile folosite în construcția traductoarelor capacitive.

● Astfel, **traductorul pentru măsurarea presiunii** P (fig. 2.23, *a*) **a unui fluid** din conducta C cuprinde armătura fixă A_1 și armătura mobilă A_2 solidară cu membrana elastică M. Cînd presiunea P crește, distanța d între armături scade, deci capacitatea C_x crește, dependentă de presiunea respectivă.

● În figura 2.23, *b* s-a prezentat elementul sensibil al unui **traductor capacitiv pentru măsurarea diametrelor axelor care se prelucrează prin strunjire.** Acesta cuprinde două armături curbe C_1 și C_2, avînd raza de curbură R_0 și centrul de curbură în centrul O al axului A, care se rotește fiind strunjit de cuțitul S.

Notînd cu R_x raza axului, rezultă că distanța d ($d = R_0 - R_x$) crește odată cu scăderea diametrului $2\ R_x$ al axului de prelucrat. Valoarea capacității C_x este determinată de cele două capacități formate din armăturile C_1 și C_2 înseriate prin axul A. Deoarece cu ajutorul acestui tip de traductor se poate măsura („controla") diametrul piesei chiar în timpul prelucrării, acest sistem mai poartă numele și de „control activ" al diametrului axului A.

4. Traductoare de radiații infraroșii

Traductoarele respective, numite și *traductoare pirometrice* sînt folosite pentru măsurarea temperaturilor mari (600—2 000°C) ale unor corpuri, fără contact direct între elementul sensibil și corp.

Elementul sensibil al traductorului pirometric de radiație totală tip K 42 sau K 56 fabricat la IEA funcționează pe baza dependenței

dintre temperatura absolută T (în grade Kelvin) a unui corp încălzit și energia totală E_r radiată pe toate lungimile de undă:

$$E_r = KT^4, \qquad (2.27)$$

în care K este o constantă ce depinde de natura corpului încălzit.

Elementul sensibil este constituit dintr-o cutie A (fig. 2.24, *a*) fixată de exemplu în peretele B al unui cuptor de topit metal, care cuprinde niște plăcuțe P din platină înnegrită (reprezentînd corpul „negru absolut"- care absoarbe toate radiațiile incidente).

Pe aceste plăcuțe sînt fixate „termocupluri" E de tipul cromel-constantan (v. cap. 2, par. 6) care dau la ieșire o tensiune U proporțională cu temperatura la care sînt încălzite.

Un sistem de lentile L concentrează pe plăcuțele P radiația calorică R emisă de corpul C (metalul topit), care este încălzit la temperatura T.

Așadar, tensiunea U obținută la ieșirea elementului sensibil (pirometru) este dependentă de temperatura T.

Traductorul pirometric conține și adaptorul IEA tip ELT 161, care transformă tensiunea U în semnal unificat de curent $i = 2 \ldots 10$ mAc.c corespunzător diverselor domenii de măsurare a temperaturii:. 600—1 400°C; 700—1 500°C; 700—1 600°C; 800—1 700°C și 1 000—2 000°C.

În figura 2.24, *b* este prezentat aspectul exterior al pirometrului de radiație totală tip K 42 (IEA).

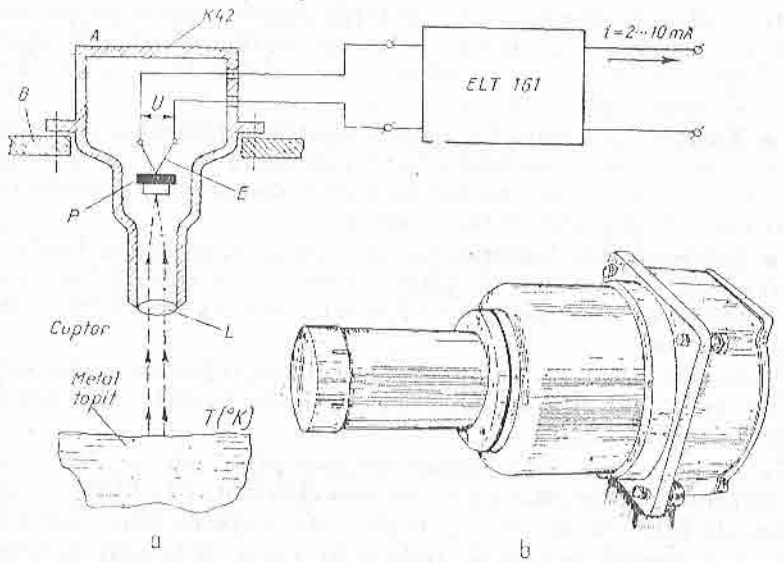


Fig. 2.24. Traductor de radiații infraroșii:
a — schema funcțională; *b* — aspectul exterior al pirometrului tip K 42.

○ **Traductoarele de inducție** fac parte din categoria *traductoarelor generatoare*, adică *transformă mărimea de măsurat direct într-o tensiune electrică* (curent electric), *fără a mai fi nevoie de o sursă ajutătoare.*

Aceste tipuri de traductoare se bazează pe transformarea mărimii de măsurat, care este o deplasare, viteză sau accelerație, într-o tensiune electromotoare de inducție.

Tensiunea produsă de traductor este aplicată unui aparat. Acesta poate fi, în principiu, un voltmetru, a cărui indicație este proporțională cu viteza (mărimea) de măsurat. Așa cum se va arăta în capitolele următoare, mărimea obținută de la traductor este necesară nu numai pentru măsurare, ci și pentru comandă, reglare etc.; de aceea, în locul voltmetrului se poate găsi rezistența electrică a unui alt element, de exemplu „rezistența de intrare" a unui amplificator sau a unui adaptor. În acest caz, mărimea produsă de traductor poate — în urma diverselor transformări (amplificare, comparare cu altă mărime etc.) — să influențeze procesul tehnologic.

Rezistența electrică R_s pe care debitează traductorul (rezistența de sarcină) poate deci să capete o semnificație diferită, după scopul propus pentru traductor.

În mod asemănător, și pentru traductoarele expuse în paragrafele anterioare, unde pentru o înțelegere mai ușoară s-au indicat aparatele de măsurare (voltmetre sau ampermetre), putea fi prevăzut la ieșire simbolul general de rezistență de sarcină R_s.

● **Traductorul tahometric.** Dintre tipurile de traductoare de inducție, cel mai des folosit este traductorul tahometric sau *tahogeneratorul*, care este de fapt un mic generator electric, construit atît pentru curent alternativ, cît și pentru curent continuu.

● **Debitmetrul de inducție.** Se folosește la măsurarea debitului unui lichid conductor care circulă printr-o conductă izolată, lichid care de obicei este coroziv (de exemplu acid) și care, deci, nu poate veni în contact cu piese metalice.

Elementul sensibil se compune dintr-un corp cilindric C din material izolant, prin care circulă moleculele de lichid (notate cu semnul ⊕) cu viteza v (fig. 2.25).

Într-o secțiune (zonă) a conductei este plasat un electromagnet M cu o înfășurare S alimentată cu tensiunea alternativă U. Fluxul magnetic produs de inducția magnetică B străbate perpendicular conducta și, datorită deplasării lichidului, induce în masa lichidului o tensiune electromotoare e care este culeasă pe electrozii e_1 și e_2.

○ **Observație.** Tensiunea obținută, conform legii inducției* (Lenz) este proporțională cu viteza v și rezultă perpendicular pe direcția cîmpului magnetic (legea mîinii drepte).

Se poate deci scrie:

$$e = k \cdot v, \qquad (2.28)$$

în care k este un factor de proporționalitate.

Deoarece debitul D de lichid este proporțional cu viteza, rezultă că tensiunea e este proporțională și cu debitul D:

$$e = k' \cdot D. \qquad (2.29)$$

Prin integrarea într-un anumit timp a tensiunii e se obține o mărime proporțională cu debitul total scurs prin conductă în timpul respectiv.

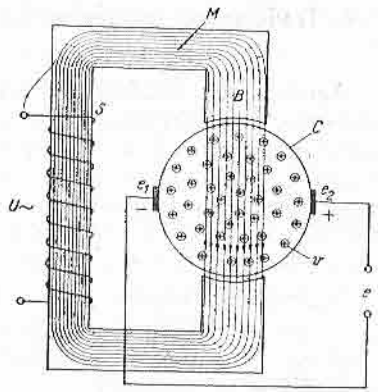


Fig. 2.25. Debitmetru de inducție.

Industria românească (IEA) fabrică un asemenea element sensibil denumit și „**detector electromagnetic de debit**"** **tip FL 281 S,** a cărui vedere de ansamblu este prezentată în figura 2.26. Acesta constituie împreună cu adaptorul tip ELT 530 un traductor de debit care produce la ieșire semnal unificat (2—10 mAc.c.).

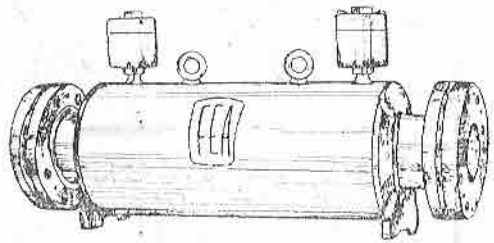


Fig. 2.26. Debitmetru tip FL 281 S.

---

* Tensiunea electromotoare e indusă în elementul de lungime l ce se deplasează cu viteza v în cîmpul de inducție B este: $e = B \cdot l \cdot v$.

** După părerea autorului mai corect spus este „de inducție" conform principiului arătat.

6. Traductoare termoelectrice

Acestea sînt *traductoare generatoare a căror funcționare se bazează pe tensiunea electromotoare* (numită tensiune termoelectromotoare) *care apare în punctul de sudare* (joncțiune) *a două materiale* diferite supuse încălzirii. Această tensiune, care este proporțională cu temperatura măsurată, poate fi pusă în evidență, de exemplu, cu ajutorul milivoltmetrului *mV* (fig. 2.27, *a*). Circuitul format din cele două conductoare (termoelectrozi) poartă și numele de *termocuplu*.

Materialele folosite pentru confecționarea termocuplurilor sînt:

— pentru temperaturi pînă la 1 100°C — metale și aliaje obișnuite ca: fierul, cuprul, constantanul, cromelul (90% Ni + 10% Cr), alumelul (95% Ni + procente de Mn, Al, Si, Fe), copelul (56% Cu + 44% Ni), cromul etc.;

— pentru temperaturi cuprinse între 1 100 și 1 600°C — metale nobile ca aurul, argintul, platina, iridiul etc.;

— pentru temperaturi ce depășesc 1 600°C — materiale greu fuzibile (refractare) cum sînt: wolframul, molibdenul, carbura de siliciu etc.

Tensiunile termoelectromotoare obținute de la termocupluri sînt de obicei cuprinse între 5 și 50 mV.

Industria românească (IEA) fabrică o mare varietate de termocupluri, din diverse materiale și pentru mai multe game de temperatură.

În figura 2.27, *b* este prezentat aspectul exterior al unui termocuplu fabricat la IEA.

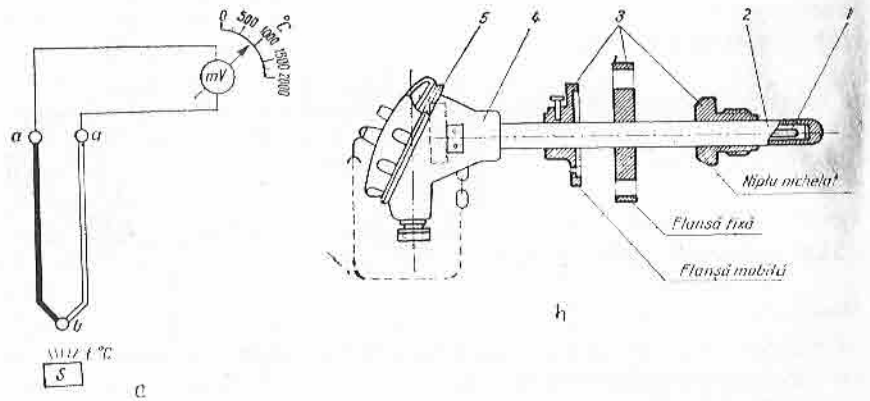


Fig. 2.27. Termocuplu:
a — schema funcțională; *b* — aspectul exterior.

Termocuplurile descrise mai sus sînt folosite în combinație cu blocurile de gamă H71, H73 sau H76 și cu adaptoarele ELT 160 sau ELT 161 (fig. 2.9 și 2.10), constituind astfel diverse traductoare de temperatură cu semnal de ieșire unificat (2—10 mAc.c.).

7. Traductoare pH-metrice

În procesele de producție cu caracter chimic (industria alimentară, chimie, celuloză, hîrtie, petrol etc.) interesează determinarea gradului de aciditate sau alcalinitate al soluțiilor (*pH*-ul).

Pentru determinarea *p*H-ului se utilizează metode electrometrice bazate pe faptul că între un metal cufundat într-o soluție care conține ionii metalului și soluția respectivă apare o diferență de potențial E. Această tensiune electrică E depinde de concentrația activă c a ionilor de metal și de temperatura absolută T (K).

Se definește ca *pH*-ul unei soluții logaritmul zecimal al concentrației ionilor de hidrogen considerat cu semnul minus:

$$pH = -\log c_H^+. \tag{2.30}$$

Similar se poate defini un indicator corespunzător ionilor de oxhidril:

$$p\mathrm{OH} = -\log c_{OH^-}. \tag{2.31}$$

Pentru apa pură (neutră), cele două mărimi sînt egale și anume:

$$pH = p\mathrm{OH} = 7. \tag{2.32}$$

Prin adăugarea unui acid în apă, concentrația ionilor de hidrogen crește, deci *p*H-ul crește:

$$\text{SOLUȚIE ACIDĂ: } 7 < p\mathrm{H} < 14$$

Idem, prin adăugarea unei baze (soluție alcalină) concentrația ionilor de hidrogen scade:

$$\text{SOLUȚIE BAZICĂ: } 0 < p\mathrm{H} < 7$$

Pentru un acid pur (100%) rezultă $p\mathrm{H} = 14$, iar pentru o bază pură (100%) $p\mathrm{H} = 0$.

Determinarea valorii *p*H se face cu un element sensibil format din doi electrozi introduși într-un vas conținînd lichidul de analizat.

Între fiecare electrod și lichid, deci între cei doi electrozi, va rezulta o tensiune U dependentă de *p*H.

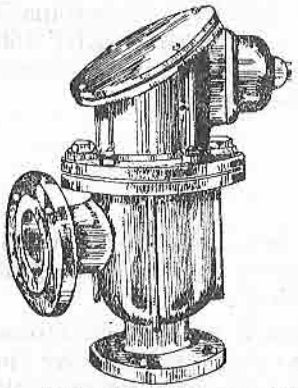


Fig. 2.28. Elementul sensibil (detectorul) de pH tip W 63.

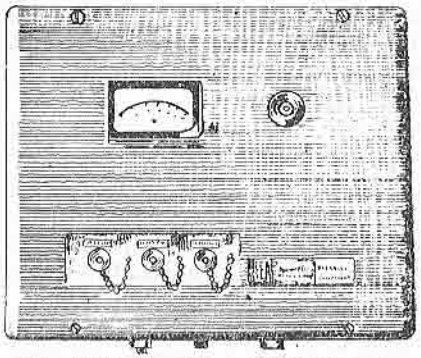


Fig. 2.29. Adaptorul ELT 630 pentru pH-metru.

În țara noastră se fabrică **traductoare pH-metrice** (IEA), ca de exemplu tipurile **care folosesc elemente sensibile W 62 și W 62.** *Tipul W 62* folosește pentru măsurări discontinue prin imersie (cufundare într-o cantitate de soluție), iar *tipul W 63* permite măsurarea pH-ului în flux continuu, situație în care el se montează în circuitul unei conducte.

În figura 2.28 este prezentat aspectul exterior al elementului sensibil W 63, iar în figura 2.29 — adaptorul ELT 630 care constituie împreună traductorul pH-metric.

REZUMAT

1. Elementele de automatizare care transformă o mărime oarecare (temperatură, presiune etc.) într-o mărime electrică se numesc *traductoare.*

2. În structura traductoarelor intră unul sau mai multe *convertoare* (elemente sensibile), precum și *adaptoare* care permit obținerea la ieșire a unor valori dorite sau unificate (de exemplu: semnalul de curent unificat: 2 — 10 mAc.c. sau de presiune unificată: 0,2 — 1 kgf/cm²).

3. *Traductoarele se clasifică în funcție de* mărimea electrică de la ieșire (traductoare parametrice sau generatoare) precum și în funcție de mărimea de la intrare „tradusă" (traductoare de deplasare, de viteză, de debit, de presiune etc.).

4. *Traductoarele se folosesc* în schemele de automatică pentru măsurarea și prelucrarea pe cale electrică (de exemplu folosind un voltmetru sau ampermetru) a unor mărimi neelectrice.

5. Industria românească (IEA) realizează o gamă variată de traductoare în cadrul sistemului unificat „E", folosind diverse elemente sensibile însă cu un număr redus de adaptoare, care asigură la ieșire semnal unificat de curent $i = 2 \ldots 10$ mAc.c.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcționarea traductoarelor parametrice inductive se bazează pe:
   a) legea inducției electromagnetice?
   b) variația reluctanței circuitului magnetic?
   c) modificarea curentului electric ce străbate traductorul?
2. Unele tipuri de traductoare se numesc generatoare deoarece:
   a) necesită o sursă de energie în circuitul de ieșire?
   b) sînt folosite ca generatoare de energie (putere) electrică?
   c) mărimea de ieșire este un curent sau o tensiune electrică?
3. Traductoarele IEA din sistemul unificat E prezintă în structura lor:
   a) elemente sensibile de semnal unificat?
   b) adaptoare cu semnal de ieșire unificat?
   c) aceleași tipuri de convertoare?
4. Convertoarele sînt subelemente întîlnite în automatică, avînd funcția de:
   a) transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta?
   b) convertire a curentului continuu în curent alternativ?
   c) convertire a unei presiuni oarecare în semnal unificat de presiune: 0,2 — 1 kg/cm²?
5. Convertorul duză-paletă asigură o dependență între următoarele mărimi:
   a) curent-presiune?
   b) presiune-curent?
   c) deplasare-presiune?
6. Adaptoarele sînt elemente de automatizare care permit:
   a) mărirea semnalului obținut la ieșirea unui element?
   b) menținerea constantă a semnalului de intrare într-un element?
   c) convertirea semnalelor la valori unificate?

Capitolul 3

AMPLIFICATOARE

A. NOȚIUNI GENERALE

Mărimile măsurate au în majoritatea cazurilor valori foarte mici, astfel încît este necesară mărirea lor proporțională, adică amplificarea lor.

Așa cum s-a arătat în capitolul precedent, de exemplu, tensiunea produsă de un termocuplu este de cîțiva milivolți, iar cea produsă de un traductor pH-metric are o valoare mult mai mică. Bineînțeles, o asemenea valoare de tensiune chiar dacă poate deplasa acul indicator al unui voltmetru, este incapabilă să producă un efect de comandă fără

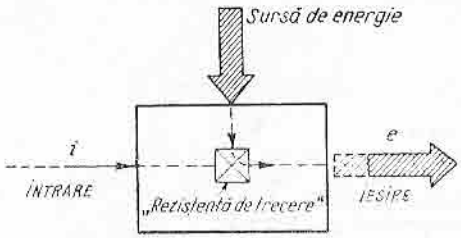


Fig. 3.1. Schema funcțională a unui amplificator.

ca să fie amplificată anterior. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor elemente speciale numite *amplificatoare*, la care mărimea de intrare de o putere (nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieșire avînd o putere (nivel) mult mai mare. Se înțelege că obținerea unui factor de amplificare mai mare decît 1 nu este posibilă decît folosind o sursă auxiliară de energie.

Mărimea de intrare i are rolul de a varia „rezistența de trecere" a energiei de la sursă spre ieșirea e (fig. 3.1).

Noțiunea de „rezistență de trecere" trebuie înțeleasă aici în sensul general al cuvîntului, adică atît ca o rezistență într-un circuit electric, cît și ca o rezistență hidraulică într-un circuit de trecere al unui lichid sau ca o rezistență pneumatică într-un circuit de gaz (aer comprimat) etc.

De menționat că mărimea de intrare i poate fi, de exemplu, un curent I_i sau o tensiune U_i, iar cea de ieșire e poate fi de asemenea un curent I_e, sau o tensiune U_e.

16-038 f

1. Clasificarea amplificatoarelor

● **După natura mărimii fizice furnizate de sursa de energie** (sau de alimentare), amplificatoarele se împart în (fig. 3.2):

— *amplificatoare de mărimi electrice* (electronice, magnetice, rotative etc.);

— *amplificatoare de mărimi neelectrice* (mecanice, pneumatice și hidraulice).

● **După modul de interdependență al mărimilor de intrare și de ieșire** se deosebesc:

— *amplificatoare fără reacție*, la care mărimea de ieșire depinde de mărimea de intrare numai pe baza legăturii „directe" (intrare-ieșire);

— *amplificatoare cu reacție*, la care mărimea de ieșire depinde atît de mărimea de intrare, cît și de o mărime „de reacție" r, transmisă de la ieșire înapoi la intrare printr-o legătură „inversă" (ieșire-intrare), numită „de reacție".

Dacă mărimea de reacție r se adună cu cea de intrare i, mărind astfel semnalul total aplicat amplificatorului, *reacția* se numește *pozitivă* (fig. 3.3, *c*), iar dacă r se scade din i, reacția se numește *negativă* (fig. 3.3, *d*).

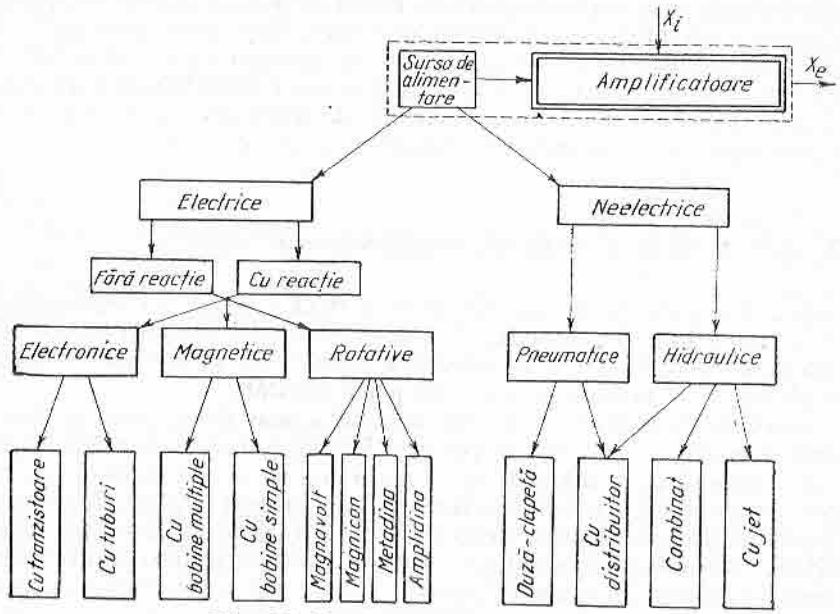


Fig. 3.2. Clasificarea amplificatoarelor.

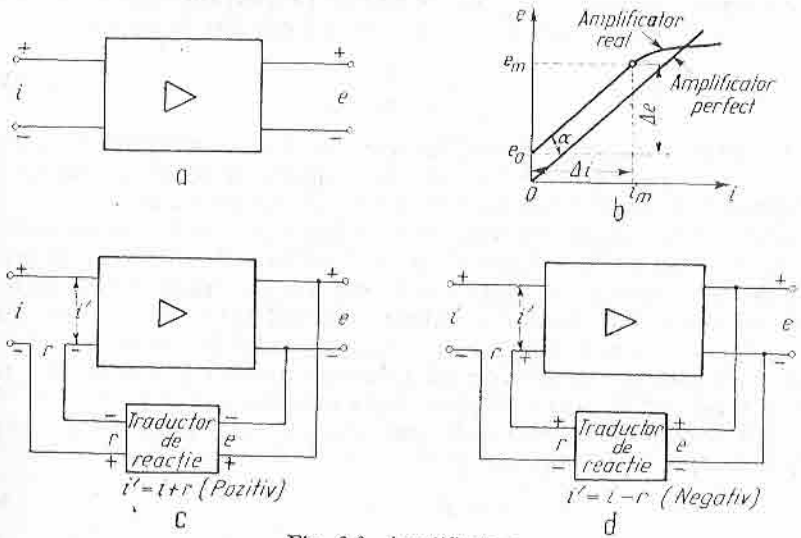


Fig. 3.3. Amplificator:
a — schema — bloc; *b* — caracteristica statică; *c* — cu reacție pozitivă; *d* — cu reacție negativă.

Problemele cele mai complexe le ridică amplificatoarele din prima categorie — amplificatoarele electrice — care, deşi sînt principial şi constructiv diferite între ele, posedă totuşi anumite caracteristici generale comune. Reprezentarea schematică a unui amplificator este dată în figura 3.3, *a* iar dependenţa mărimii de ieşire de cea de intrare — caracteristica statică — în figura 3.3, *b*.

16-03-87

2. Caracteristicile generale ale amplificatoarelor electrice

Spre deosebire de un amplificator perfect — a cărui caracteristică statică este o linie dreaptă (fig. 3.3, *b*) trecînd prin originea axelor de coordonate ($e = K \cdot i$) — *caracteristica statică de funcţionare a unui amplificator real* prezintă o serie de **particularităţi.**

Caracteristica statică este o linie dreaptă numai pentru zona de funcţionare normală, adică pînă în punctul la care corespunde mărimea de intrare maximă i_m şi mărimea de ieşire maximă e_m. Dincolo de acest punct, caracteristica prezintă fenomenul de saturaţie şi amplificatorul nu mai funcţionează corect. Fenomenul de saturaţie se datoreşte „neliniarităţii" parametrilor amplificatorului (de exemplu limitarea curentului de emisie al catodului la amplificatoarele electronice cu tuburi, sau saturaţia magnetică a fierului la amplificatoarele magnetice etc.).

Coeficientul unghiular K (coeficientul de proporţionalitate) *al caracteristicii în domeniul liniar* ($i < i_m$ şi $e < e_m$) *este dat de relaţia*:

$$K = \frac{\Delta e}{\Delta i} \tag{3.1}$$

şi poartă numele de *factor de amplificare, pantă* sau *sensibilitatea* amplificatorului. Amplificarea putînd fi: de curent, de tensiune, de putere etc., factorul de amplificare ia denumirea corespunzătoare.

Caracteristica statică nu trece prin originea axelor de coordonate, ci prezintă o ordonată la origine e_0, numită *valoare de gol.* Ea reprezintă fizic valoarea mărimii de ieşire cînd intrarea este nulă. La amplificatoarele de radio (tip „audio"), valoarea de gol înseamnă un „semnal" sau „zgomot" la ieşire chiar atunci cînd semnalul la intrare este zero. Din această cauză, valoarea de gol la aceste amplificatoare se mai numeşte şi *zgomotul de fond* sau *perturbaţia* amplificatorului.

Ţinînd seamă de mărimile de mai sus, expresia analitică a caracteristicii statice a amplificatorului este:

$$e = K \cdot i + e\,, \tag{3.2}$$

şi de aceasta se ţine seamă la proiectarea schemelor cu amplificatoare.

1. Amplificatoare cu tuburi

În construcţia acestor amplificatoare se folosesc de obicei tuburile cu vid cu trei electrozi (triode) şi tuburile cu cinci electrozi (pentode). Funcţionarea acestor amplificatoare se bazează pe posibilitatea de a modifica rezistenţa internă R_i a tubului — deci valoarea curentului anodic I_a — prin modificarea tensiunii de grilă U_g. În general, se realizează amplificatoare pentru curent alternativ şi, mai rar, pentru curent continuu.

2. Amplificatoare cu tranzistoare

Datorită avantajelor pe care le prezintă materialele semiconductoare, în prezent capătă o largă răspîndire amplificatoarele cu tranzistoare.

Făcînd o comparaţie între dioda cu vid (tubul) şi trioda semiconductoare (tranzistorul), se constată că, ţinînd seamă de principiul de funcţionare, se pot face următoarele asemănări:

Tub cu vid	→ tranzistor;
Catod	→ emitor;
Anod	→ colector;
Grilă	→ bază.

Ţinînd seamă de acest fapt, rezultă că şi amplificatoarele cu tranzistoare vor fi asemănătoare cu cele cu tuburi.

În igura 3.4, *a* este prezentată schema unui amplificator cu un tranzistor *p-n-p*, la care tensiunea de intrare u_i se aplică între bază (B) şi emitor (E), iar cea de ieşire se obţine între colector (C) şi emitor (E) — vezi caracteristicile de ieşire ale tranzistorului din figura 3.4, *b*.

Dacă la schemele cu tuburi se are în vedere mai ales amplificarea de tensiune, la schemele cu tranzistoare se utilizează mai ales amplificarea în putere.

Amplificatoarele cu tranzistoare sînt elemente de dimensiuni foarte reduse şi, în raport cu cele cu tuburi, necesită surse mici de energie (au deci randamentul foarte ridicat); în plus, durata de funcţionare mare, sensibilitatea mare la puteri mici de intrare, insensibilitatea la şocuri mecanice şi praf, reprezintă tot atîtea *avantaje* ale folosirii acestor amplificatoare.

Dezavantajele principale ale amplificatoarelor cu tranzistoare sînt instabilitatea la temperatură şi zgomotul.

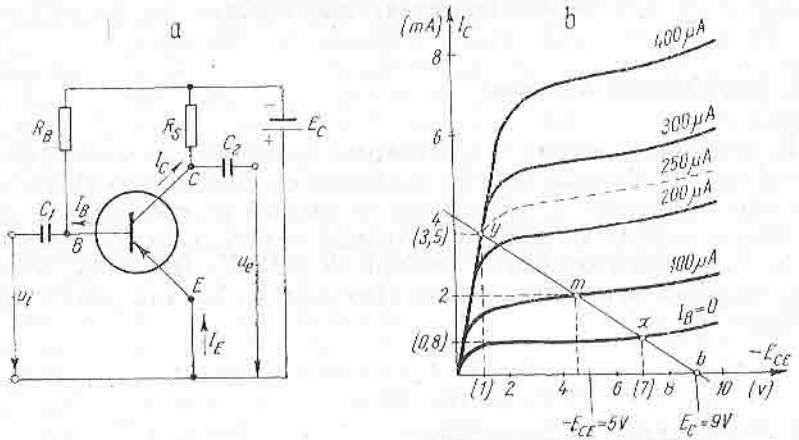


Fig. 3.4. Amplificator cu tranzistor:
a — schema electrică; *b* — caracteristicile de colector.

Temperatura influențează caracteristicile statice ale tranzistorului, în special prin creșterea conductivității acestuia, adică prin creșterea curentului de colector. Astfel, curentul de colector, adică conducția în sens direct a unui tranzistor cu germaniu crește cu temperatura și, de exemplu, la 100°C poate atinge valori de cîteva zeci de ori mai mari decît la 20°C. Datorită acestui efect, tranzistoarele cu germaniu funcționează satisfăcător pînă la temperatura de 70°C, iar cele cu siliciu, care sînt mai stabile, pînă la 150°C.

3. Amplificatoare de curent continuu folosite în sistemul unificat „E" (IEA)

Amplificarea directă a semnalelor de curent continuu este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care sînt utilizate *amplificatoarele de curent continuu cu modulare-amplificare-demodulare*, numite și *cu eșantionare* sau *cu chopper*.

În aparatura sistemului unificat „E" sînt folosite două asemenea tipuri de amplificatoare de curent continuu, care diferă între ele numai prin construcția modulatorului: electronic sau magnetic.

● Un **amplificator electronic de curent continuu folosind modulator electronic** (IEA tip H 22), a cărui schemă principială este arătată în

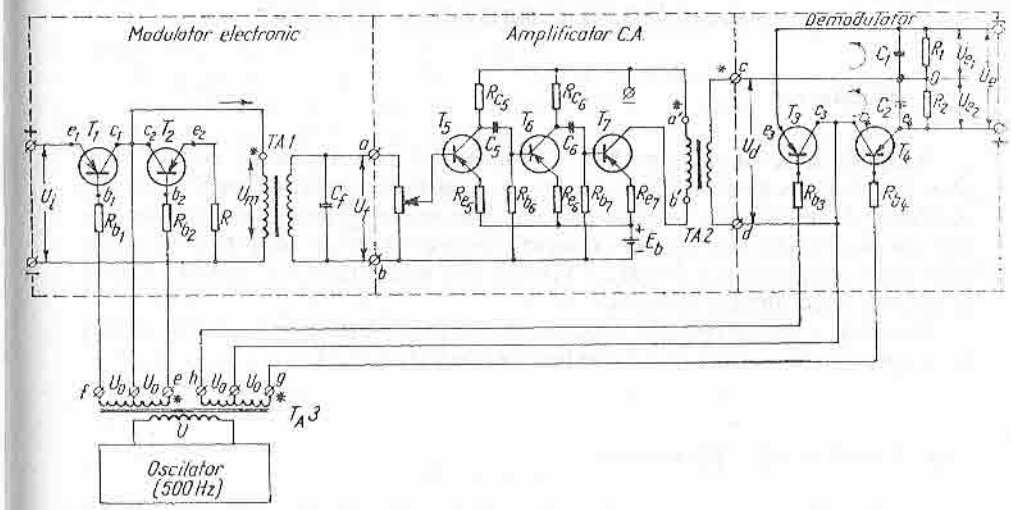


Fig. 3.5. Amplificator electronic de curent continuu cu modulator electronic (tip H 22).

figura 3.5 cuprinde un modulator și un demodulator cu funcționări similare avînd cîte două tranzistoare (T_1 și T_2 respectiv T_3 și T_4) funcționînd în regim de comutație * (complet blocat sau complet deschis) și comandate „sincron" de un oscilator de frecvență constantă ($f_0 = 500$ Hz).

Un amplificator de curent alternativ format din trei tranzistoare (T_5, T_6, T_7) asigură procesul de amplificare a mărimii de intrare.

● **Amplificator electronic de curent continuu folosind modulator magnetic** (IEA tip H 11). Modulatorul magnetic cuprinde două miezuri magnetice toroidale dintr-un material special (permalloy) care, printr-o schemă adecvată, asigură la ieșire impulsuri dreptunghiulare de amplitudine constantă însă de durată proporțională cu tensiunea continuă U_i aplicată. Amplificatorul de curent alternativ, oscilatorul și demodulatorul sînt identice cu cele din cazul precedent, astfel că se asigură, ca și în primul caz, o tensiune de ieșire U_e continuă, amplificată în raport cu tensiunea U_i.

---

* Cînd tranzistorul are joncțiunea emitor-bază polarizată direct, el *conduce*, adică se comportă ca o rezistență nulă, deci ca un contact închis, iar cînd joncțiunea emitor-bază este polarizată invers tranzistorul *este blocat*, adică se comportă ca o rezistență infinită, deci ca un contact deschis.

1. Introducere

Amplificatoarele pneumatice şi hidraulice *sînt destinate amplificării semnalelor primite de la traductoare şi transmit semnalul amplificat elementelor de execuţie pneumatice sau hidraulice.* Elementele respective sînt amplificatoare de putere, operaţie concretizată în majoritatea cazurilor prin amplificarea forţei, a vitezei sau a amîndurora (puterea fiind produsul între forţă şi viteză).

Sursa de energie folosită este aerul comprimat (elemente pneumatice) şi, respectiv, uleiul sub presiune (elemente hidraulice).

2. Amplificatoare pneumatice

● **Amplificator pneumatic de putere.** Acest tip de amplificator cuprinde un corp cilindric (fig. 3.6, *a*), format din patru camere: *A*, *B*, *C* şi *D*. Camerele *A* şi *B* sînt despărţite prin membrana *m* executată din pînză cauciucată şi rigidizată cu discurile metalice *d* solidare cu tija *t*.

Între camerele *B* şi *C* se află un perete rigid cu un orificiu central o_1 prin care trece tija *t*. Între camerele *C* şi *D* se află de asemenea un orificiu o_2, obturat de bila *b* împinsă în sus de resortul plat *p*. Cele patru camere au racorduri exterioare cu următoarele funcţii:

— camera *A*, racordul r_1 pentru presiunea de intrare P_i;
— camera *B*, racordul r_2 pentru legătura cu exteriorul ($P = 0$);
— camera, *C*, racordul r_3 pentru presiunea de ieşire P_e;
— camera *D*, racordul r_4 pentru presiunea de alimentare P_a ($P_a = 1{,}4$ kgf/cm² = ct).

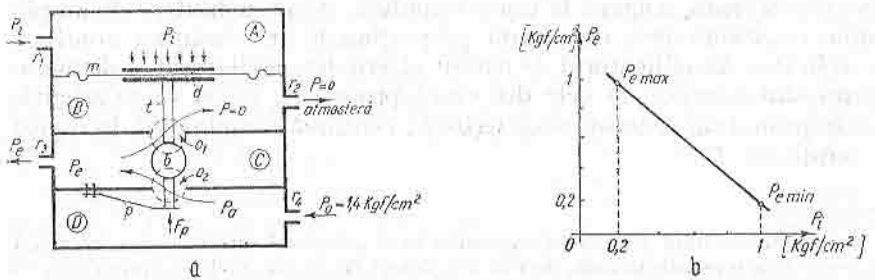


Fig. 3.6. Amplificator pneumatic:
a — schema funcţională; *b* — caracteristica statică.

Amplificatorul prezentat „defazează" semnalul de intrare P_i cu 180°, adică cînd P_i creşte P_e scade.

Funcţionarea amplificatorului are loc în felul următor:

Cînd presiunea de intrare P_i *are valoarea minimă* $P_i = P_{i\,min} =$ = 0,2 kgf/cm² (nivelul minim al semnalului pneumatic unificat), resortul *p* împinge bila *b* în sus pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_1. În acest caz rezistenţa pneumatică de trecere a orificiului o_2 este minimă, astfel că presiunea de ieşire P_e capătă valoarea maximă ($P_e = P_{e\,max}$), obţinută de la presiunea de alimentare P_a.

Cînd presiunea de intrare P_i *are valoarea maximă* $P_i = P_{i\,max} =$ = 1 kgf/m² (nivelul maxim al semnalului pneumatic unificat), forţa F_p a resortului *p* este învinsă, bila *b* fiind împinsă în jos (prin tija *t*) pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_2. Rezistenţa pneumatică de trecere a orificiului o_1 este minimă, astfel că presiunea de ieşire P_e capătă valoarea minimă ($P_e = P_{e\,min}$) prin legarea circuitului de ieşire direct cu atmosfera ($P = 0$).

În sfîrşit, *pentru valori intermediare ale presiunii* P_i (0,2—1 kgf/cm²), bila *b* ocupă o poziţie intermediară astfel că presiunea P_e capătă o valoare intermediară între $P_a = 1{,}4$ kgf/cm² şi $P = 0$ (atmosferă) datorită legării simultane a camerelor *B*, *C* şi *D* prin rezistenţele pneumatice de trecere a aerului prin orificiile o_1 şi o_2.

În figura 3.6, *b* este arătată caracteristica statică a acestui amplificator din care se observă defazarea semnalului de intrare (cînd P_i creşte, P_e scade şi invers).

Amplificatoarele pneumatice pot fi realizate „cu distribuitor", ca şi amplificatorul hidraulic din figura 3.8.

3. Amplificatoare hidraulice

● **Amplificator hidraulic cu jet.** În figura 3.7 este prezentat un amplificator hidraulic cu jet. Deplasarea (forţa aplicată) tijei t_i constituie mărimea de intrare *I* şi ea este primită de la un element sensibil (de exemplu un traductor). Această tijă deplasează tubul cu jet *j* în faţa orificiilor O_1 şi O_2 ale unor tuburi d_1 şi respectiv d_2.

Tubul cu jet este articulat în punctul *f* şi alimentat cu ulei sub presiunea P_0 prin conducta *C*. Tuburile d_1 şi d_2 alimentează, pe la cele două capete, un cilindru *N* în care se află pistonul *P*.

Detalii în legătură cu poziţia jetului *j* faţă de orificiile O_1 şi O_2 se văd în secţiunea *A* — *A* din figura 3.7.

Cînd tija de intrare t_i *se deplasează în sus* învingînd rezistenţa resortului *r* (reglabil cu ajutorul şurubului *S*), secţiunea S_1 de trecere a uleiului spre orificiul O_1 creşte, respectiv secţiunea S_2 de trecere spre

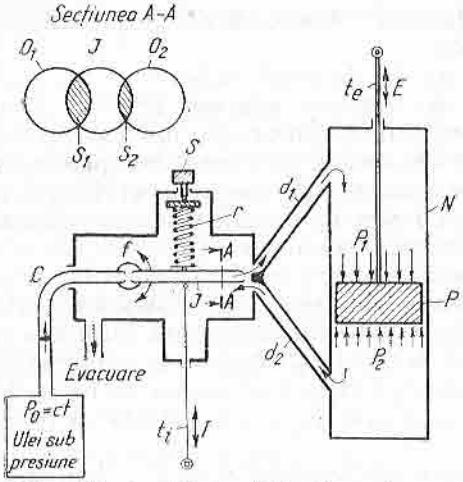


Fig. 3.7. Amplificator hidraulic cu jet.

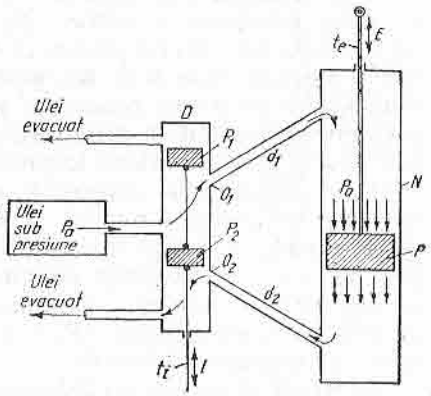


Fig. 3.8. Amplificator hidraulic cu distribuitor.

orificiul O_2 scade, ceea ce are ca efect creșterea presiunii P_1 față de P_2 și deci deplasarea în jos a pistonului P, inclusiv a tijei de ieșire t_e.

Cînd t_i se deplasează invers, adică *în jos*, S_2 crește și S_1 scade, deci $P_2 > P_1$ și pistonul P se deplasează în sus. Pentru o poziție mediană $S_1 = S_2$, deci $P_1 = P_2$ și pistonul P (împreună cu tija de ieșire t_2) stă pe loc.

Uleiul „uzat" merge la evacuare avînd presiunea scăzută și este apoi repompat în circuit.

● **Amplificator hidraulic cu distribuitor** (fig. 3.8). Tija de intrare t_i deplasează sistemul de pistoane P_1 și P_2 din distribuitorul D, alimentînd prin tuburile d_1 și d_2 pistonul principal P, solidar cu tija de ieșire t_e.

Cînd t_i se deplasează în sus (ca în figură), uleiul sub presiunea P_a trece prin orificiul O_1 și tubul d_1 în cilindrul principal N, împingînd pistonul P și tija t_e în jos. Uleiul de sub pistonul P este evacuat prin tubul d_1 și orificiul O_2.

Cînd t_i se deplasează în jos, astfel că pistonul P_1 coboară sub orificiul O_1, iar P_2 coboară sub O_2, uleiul sub presiune este pus în legătură cu tubul d_2 împingînd pistonul P în sus; uleiul uzat de deasupra pistonului P este evacuat prin tubul d_1 și pe deasupra pistonului P_1.

Cînd t_i se află în poziția mediană, pistoanele P_1 și P_2 închid orificiile O_1 și respectiv O_2, astfel că pistonul P și tija t_e se opresc în poziția în care se află.

REZUMAT

1. *Amplificatoarele* sînt elemente în automatizare care măresc (amplifică) proporțional cu un factor de amplificare mărimea aplicată la intrarea lor.
2. *Necesitatea amplificatoarelor* rezultă din faptul că mărimile obținute de la traductoare sînt insuficiente ca putere, pentru a acționa direct asupra unui organ de comandă dintr-o instalație de automatizare.
3. Amplificatoarele se construiesc atît pentru mărimi electrice (amplificatoare electronice, magnetice etc.), cît și pentru mărimi neelectrice (amplificatoare pneumatice și hidraulice).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Amplificarea în putere a amplificatoarelor se datorește:
   a) legării în cascadă?
   b) folosirii unei surse de energie auxiliară?
   c) fenomenului de saturație?
2. Condiția de adaptare la intrare (ieșire) a unui amplificator electronic este necesară pentru:
   a) utilizarea rațională a amplificatorului?
   b) modificarea rezistenței interne a tubului (tranzistorului)?
   c) mărirea tensiunii de intrare?
3. Amplificatoarele de curent continuu folosite în sistemul unificat E asigură:
   a) amplificarea directă a tensiunii continue?
   b) amplificarea în curent alternativ?
   c) demodularea semnalelor produse de un oscilator?

Capitolul 4

RreleE

A. NOȚIUNI GENERALE

1. Introducere

Spre deosebire de traductoare și amplificatoare, la care mărimea de ieșire e variază continuu în funcție de mărimea de intrare i (caracteristica de funcționare este o linie continuă), **releele** sînt *elemente la care mărimea de ieșire variază brusc (în salt) atunci cînd mărimea de intrare atinge o valoare prescrisă numită valoare de acționare (excitare). La scăderea mărimii de intrare sub o valoare numită de revenire, are loc*

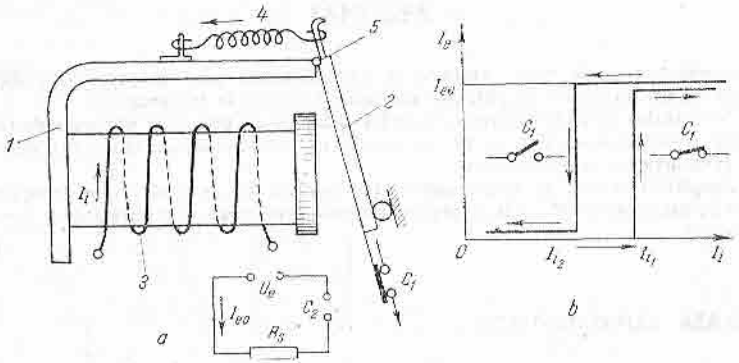


Fig. 4.1. Releu electromagnetic:
a — schema constructivă; *b* — caracteristica statică.

saltul invers al mărimii de ieşire. Pentru exemplificare, în figura 4.1, *a* este prezentat un releu electromagnetic format dintr-o armătură fixă de oţel *1* şi o armătură mobilă *2*, de asemenea de oţel. Pe armătura fixă este înfăşurată o bobină *3*, străbătută de curentul I_i, armătură care constituie astfel un electromagnet. Cînd curentul de intrare creşte, armătura *2* este atrasă, însă resortul antagonist *4* se opune deplasării acesteia. Cînd curentul I_i atinge valoarea de acţionare I_{i1}, rezistenţa resortului este învinsă, armătura *2* este atrasă şi prin rotirea în jurul punctului *5* închide contactul C_1. Prin închiderea acestui contact în circuitul de ieşire va apărea un curent I_{e0}. Se observă că valoarea curentului de ieşire depinde exclusiv de parametrii circuitului de ieşire:

$$I_{e0} = \frac{U_e}{R_s}. \tag{4.1}$$

Deci funcţionarea unui releu poate fi prezentată prin următoarele relaţii simple (fig. 4.1, *b*):

$$I_i < I_{i1}\ (C \text{ deschis}), \text{ situaţie în care } I_e = 0; \tag{4.2}$$

$$I_i \geqslant I_{i1}\ (C \text{ închis}), \text{ cînd } I_e = I_{e0}. \tag{4.3}$$

La scăderea curentului I_i, armătura nu este eliberată încă chiar dacă curentul scade puţin sub valoarea de acţionare. La o anumită valoare I_{i2} a curentului I_i, numit valoare de revenire, şi care este mai mică decît cea de acţionare ($I_{i2} < I_{i1}$), armătura *2* este eliberată, contactul *C* se deschide şi I_e devine zero.

La revenire, relaţiile sînt deci următoarele:

$$I_i > I_{i2}\ (C \text{ este închis}), \text{ iar } I_e = I_{e0}; \tag{4.4}$$

$$I_i \leqslant I_{i1}\ (C \text{ se deschide}) \text{ şi } I_e = 0. \tag{4.5}$$

Contactul C_2, care este deschis în starea „normală" a releului (releu neexcitat), se numeşte *contact normal deschis*.

Contactul C_1 (fig. 4.1, *a*), care este închis în starea normală a releului, se numeşte *contact normal închis*.

2. Caracteristicile şi utilizarea releelor

În majoritatea cazurilor, mărimea de la ieşirea releelor (X_e) este de natură electrică, adică un contact * stabileşte brusc un curent sau o tensiune. Mărimea de intrare (X_i) poate fi însă de natură electrică sau neelectrică şi în funcţie de aceasta se deosebesc *relee electrice* (de curent, de tensiune, de putere, de frecvenţă etc.) şi *relee neelectrice* (de temperatură, de presiune, de debit, de viteză etc.).

În figura 4.2 se prezintă o clasificare, din punctul de vedere al măririi de intrare (X_i) sau de ieşire (X_e), a principalelor tipuri de relee.

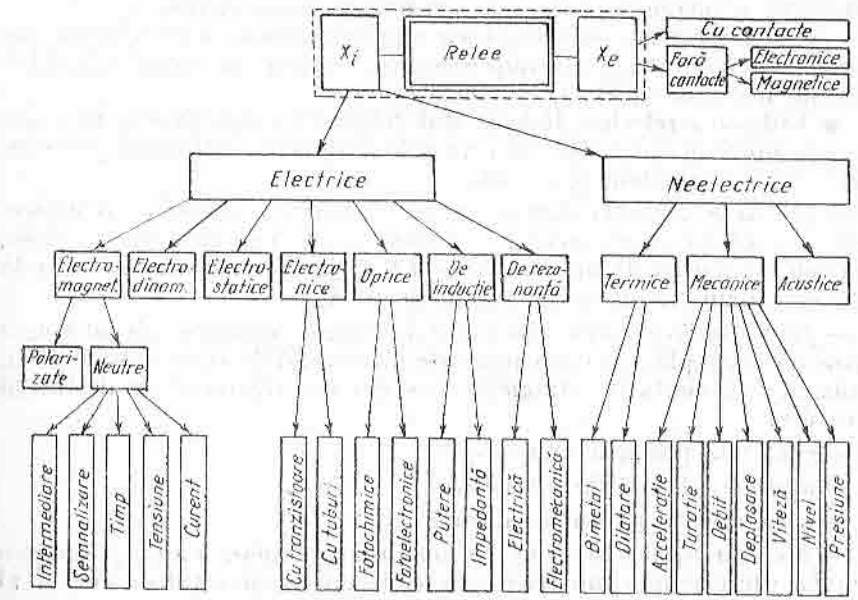


Fig. 4.2. Clasificarea releelor.

* În prezent se construiesc şi relee contacte (statice), la care variaţia bruscă a curentului sau tensiunii se realizează pe cale electronică sau magnetică.

● **Mărimile ce caracterizează un anumit releu:**

— *natura fizică a mărimii de intrare (acționare);*

— *puterea absorbită la intrare pentru ca releul să funcționeze* (această putere poate varia între valori cuprinse sub 1 W și circa 40 W);

— *curentul (puterea) transmis de contacte în circuitul de ieșire.*

În afară de curenți, se stabilesc și limite admisibile pentru tensiune și se precizează natura sarcinii. De exemplu, un contact rupe 2 A la 110 V și sarcină rezistivă sau 0,5 A la 220 V și sarcină inductivă;

— *numărul de funcționări ale releului fără ca acesta să se defecteze* (de exemplu, 500 000);

— *numărul și poziția contactelor* (de exemplu un releu are șase contacte normal deschise și două contacte normal închise);

— *domeniul de funcționare* (de exemplu, un releu de curent poate fi reglat să funcționeze între 2,5 A și 10 A);

— *timpul propriu de funcționare,* care reprezintă timpul scurs de la aplicarea mărimii de acționare până la închiderea contactelor și în funcție de care releele se împart în:

— *relee instantanee,* care prezintă o întîrziere în funcționarea de 0,01—0,05 s, inerentă oricărui sistem fizic ce are o inerție;

— *relee temporizate* (de timp), care printr-o construcție specială pot închide contactele după un timp oarecare, reglabil (de exemplu la 0,1—10 s sau chiar mai mult).

● **Utilizarea releelor.** Releele sînt folosite în automatică, mai ales în unele domenii ca: protecția prin relee, comanda automată „secvențială" etc., în următoarele scopuri:

— *pentru a comanda într-un circuit electric un curent de o valoare mare cu ajutorul unui curent de o valoare relativ mai mică* (de exemplu, un releu acționează la un curent de 0,2 A, iar contactul său comandă închiderea unui circuit cu un curent de 10 A);

— *pentru multiplicarea numărului de circuite comandate de un singur circuit* (de exemplu, un releu primește un semnal de la un traductor și, închizînd trei contacte, stabilește trei circuite distincte, cu destinații deosebite:

— comandă pornirea unui motor;

— aprinde o lampă de semnalizare;

— acționează o sirenă de alarmă;

— *pentru a acționa la atingerea unei anumite valori a unui parametru controlat* (de exemplu, un releu este conectat în circuitul de curent al unui motor și acționează cînd acest curent atinge valoarea de 25 A — periculoasă pentru motor);

— *pentru a întîrzia un anumit semnal* (temporizare), adică contactul se închide după un anumit timp de la excitare.

1. Relee electromagnetice

Releele construite pe principiul electromagnetic sînt cele mai răspîndite relee electrice; ele sînt folosite în curent continuu și alternativ. Releul din figura 4.1, *a* este un releu electromagnetic. Așa cum s-a arătat, funcționarea unui releu electromagnetic se bazează pe atragerea unei armături de oțel de către o bobină cu miez de fier (electromagnet). Releele electromagnetice se realizează sub forma următoarelor tipuri: *de curent, de tensiune, de timp, intermediare, de semnalizare* etc., fiind fabricate în principal la întreprinderea „Electromagnetica" — București.

2. Relee fotoelectrice

În figura 4.3 este prezentat un tip de releu fotoelectronic care funcționează la o anumită valoare de acționare Φ_1 a unui flux luminos Φ ce cade pe celula fotoemisivă F. După cum se știe, rezistența internă (ohmică) R_F a unei asemenea celule scade odată cu creșterea iluminării ei, datorită fenomenului de emisiune fotoelectronică. Celula F este înseriată cu rezistența fixă R_0 și este alimentată între punctele a și c cu tensiunea E_a. Notînd I_0 curentul ce străbate acest circuit se poate scrie:

$$I_0 = \frac{E_a}{R_F + R_0}, \tag{4.5}$$

de unde rezultă tensiunea de grilă U_g:

$$U_g = R_0 \cdot I_0 = \frac{R_0}{R_F + R_0} E_a. \tag{4.6}$$

Releul funcționează pentru:

$$U_g > U_{g1}. \tag{4.7}$$

Așadar, cînd fluxul luminos Φ crește atingînd valoarea Φ_1, rezistența celulei scade pînă la valoarea R_{F1} și tensiunea de grilă U_g crește atingînd valoarea U_{g1} la care

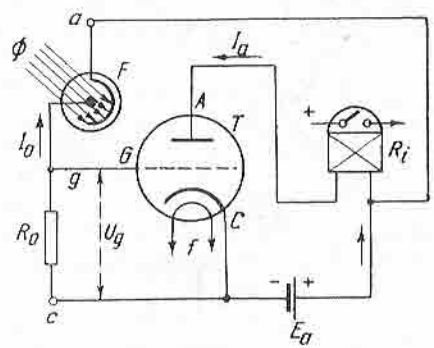


Fig. 4.3. Releul fotoelectronic cu contact.

releul funcționează. Releul descris reprezintă un releu maximal de flux luminos, adică funcționează pentru $\Phi > \Phi_1$.

Dacă se inversează locul celulei F cu rezistența R_0, expresia tensiunii de grilă devine:

$$U_g = R_F \cdot I_0 = \frac{R_F}{R_0 + R_F} E_a. \qquad (4.8)$$

Aceasta înseamnă că U_g crește, adică releul funcționează — conform relației (4.7) — cînd R_F crește, adică fluxul luminos scade; deci s-a obținut un releu minimal de flux luminos.

C. RELEE ELECTRICE FĂRĂ CONTACT (RELEE STATICE)

Releele descrise pînă aici sînt prevăzute cu contacte care închid sau deschid circuitele în care se află rezistențele de sarcină.

De fapt, din punct de vedere electric un contact reprezintă o rezistență electrică R în calea trecerii curentului, a cărei valoare variază brusc de la $R = \infty$ (contact deschis) la $R = 0$ (contact închis). Rezultă de aici că o funcționare „de releu" o au și elementele fără contact, a căror rezistență poate varia brusc de la o valoare foarte mare (practic infinită) la o valoare foarte mică (practic zero).

Releele fără contacte, deși mai scumpe, prezintă următoarele *avantaje* față de cele cu contacte: timp propriu de funcționare redus, insensibilitate la trepidații și praf, consum de energie scăzut; în plus, datorită lipsei pieselor în mișcare, durata lor de funcționare este mare, iar siguranța în exploatare este sporită.

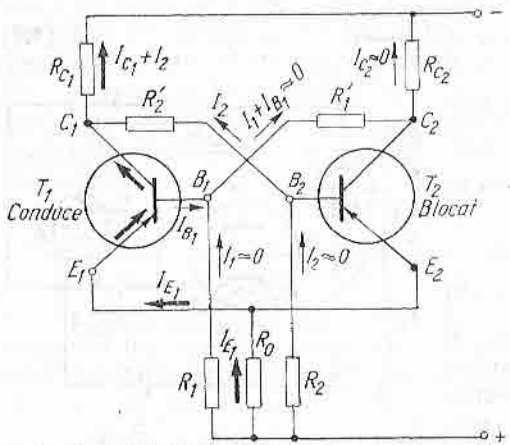


Fig. 4.4. Releu static cu tranzistoare.

● În cele ce urmează, va fi prezentat într-o formă principială un **releu static realizat cu tranzistoare.** Două tranzistoare identice T_1 și T_2 sînt conectate, ca în figura 4.4, într-o schemă simetrică. Trebuie precizat că deoarece rezistențele $R_1 = R_2$ și $R'_1 = R'_2$ au valori relativ mari (de ordinul zecilor de kΩ), iar rezistențele $R_{C1} = R_{C2}$ și R_0 sînt rezistențe de sarcină (circa 1—2 kΩ), rezultă că curenții de circulație I_1 și I_2, ca și curenții din bază I_B, sînt neglijabili în raport cu cei de emitor I_E sau de colector I_C.

Se va presupune că *numai tranzistorul T_1 se află în regim de conducție*, adică rezistența de sarcină (de colector R_{C1}) este străbătută de un curent mare I_{C1} (plus I_2, neglijabil), în timp ce prin rezistența de sarcină R_{C2} curentul este practic zero (I_1 neglijabil).

Față de o stare „inițială", în care T_1 este blocat, potențialul colectorului C_1 crește (devine mai pozitiv). Acest lucru are ca efect scăderea curentului I_2, adică o „pozitivare" a bazei B_2 paralel cu o „negativare" a punctului E_2 datorată curentului I_{E1}, ceea ce face ca tensiunea bază-emitor a lui T_2 să devină pozitivă, adică T_2 să fie blocat. Pe de altă parte, starea de blocare a tranzistorului T_2, deci negativarea colectorului C_2, creează o tensiune negativă bază-emitor a tranzistorului T_1, deci asigură regimul de conducție al acestuia.

Dacă se aplică brusc o tensiune pozitivă de intrare U_i (fig. 4.4) *pe joncțiunea bază-emitor a lui T_1*, suficientă pentru ca, pentru un moment, $U_{BE1} > 0$, tranzistorul T_1 se blochează, colectorul C_1 se negativează, I_2 crește, deci B_2 se negativează, ceea ce are ca efect $U_{BE2} < 0$, adică T_2 începe să conducă. Sistemul „basculează", adică același proces descris la început are loc invers (T_2 conduce → T_1 este blocat) și curentul prin R_{C2} crește brusc de la zero ($I_{B1} + I_1$ sînt neglijabili) la o valoare relativ mare I_{C2} (curentul de colector al lui T_2), ceea ce reprezintă o funcționare de „tip releu".

○ **Se observă că** *condiția de funcționare a releului* este:

$$+ U_i \geqslant - U_{BE1}, \qquad (4.9)$$

prin U_{BE1} înțelegînd tensiunea bază-emitor a tranzistorului T_2 în regim de conducție.

Acest dispozitiv electronic, care poate fi realizat similar și cu tuburi, se mai numește și *bistabil* * sau *trigger* și el este folosit în *sistemele automate cu comutație statică.*

D. RELEE DE MĂRIMI NEELECTRICE

Releele de mărimi neelectrice (pe scurt releele neelectrice) *au ca mărime de intrare o mărime de altă natură decît cea electrică.* Se disting astfel *relee de temperatură, de nivel, de debit, de viteză, de accelerație, de*

* Releul descris este stabil în ambele poziții. Prin modificări minime (eliminarea rezistențelor R_1 și R_2), releul devine „monostabil", adică similar releului din figura 4.1, caz în care se numește *trigger Schmitt*.

presiune, de deplasare etc. În toate cazurile însă, acțiunea releului constă în stabilirea sau întreruperea unui circuit electric, adică a unui curent sau a unei tensiuni electrice.

Se poate imagina un număr foarte mare de relee neelectrice, combinînd un traductor al unei mărimi neelectrice (din cele studiate în cap. 2) cu un releu electric oarecare. Mărimea de la ieșirea traductorului poate fi eventual amplificată pentru a comanda releul.

● În figura 4.5 este prezentat un **releu de temperatură cu bimetal,** realizat din două lame L_1 și L_2 sudate între ele, confecționate din metale cu coeficienți de dilatare d_1 și d_2 foarte diferiți. Prin încălzire de la o sursă S avînd temperatura t°C, lamele L_1 și L_2 dilatîndu-se diferit (de exemplu $d_1 < d_2$, deci alungirea lui L_2 este mai mare ca a lui L_1) bimetalul se curbează (arcuiește). Deoarece diferența de alungire crește cu temperatura — deci curbarea este cu atît mai accentuată cu cît temperatura este mai mare, rezultă că pentru o anumită valoare t_1 a temperaturii, contactul C se va stabili, deci releul va funcționa.

Închiderea contactului C constă în atingerea bornelor a și b de către lama metalică K, ceea ce are ca efect, de exemplu, stabilirea curentului de sarcină I_s.

Schimbînd poziția contactului C de-a lungul unei scări gradate (t°C), cu ajutorul șurubului de fixare I, releul poate fi reglat să funcționeze la diverse valori ale temperaturii.

● În figura 4.6 este arătat un **releu de presiune** realizat pe același principiu ca unele manometre cu ac indicator. Tubul circular elastic TB,

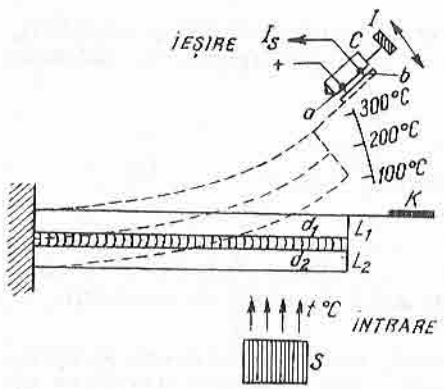


Fig. 4.5. Releu de temperatură (termic).

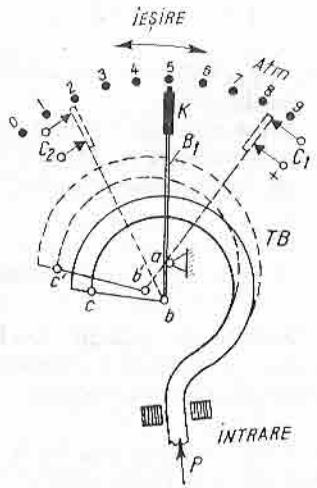


Fig. 4.6. Releu de presiune.

numit și tub Bourdon, antrenează prin pîrghia B_1 lama metalică K. Punctul a este un punct fix de articulație, iar b și c sînt puncte de articulație mobile. Cînd presiunea P aplicată releului crește, tubul Bourdon se destinde (figurat punctat), punctul c se deplasează în c', iar punctul b în b', ceea ce are ca efect rotirea pîrghiei B_1 și deci deplasarea lamei K.

Cînd presiunea P atinge valoarea maximă P_1, lama K închide contactul C_1 (contact de maxim), iar cînd presiunea scade la valoarea minimă P_2, se închide contactul C_2 (contact de minim). Un asemenea tip de releu se mai numește și manometru cu contact, brațul B_1 constituind în același timp și acul indicator care se deplasează în fața unei scări gradate (atm).

REZUMAT

1. *Releele* sînt elemente de automatizare cu funcționare discontinuă la ieșire (închidere — deschidere a unui contact) atunci cînd mărimea de intrare depășește (sau scade sub) o anumită valoare.
2. Releele *se clasifică* în funcție de natura mărimii de intrare (curent, temperatură, presiune etc.), numărul și puterea contactelor, domeniul de aplicare etc.
3. Releele pot fi folosite în următoarele *scopuri*:
   — măsurarea unui parametru controlat;
   — amplificare de putere;
   — multiplicarea numărului de circuite într-o schemă;
   — întîrzierea unui semnal (temporizare).
4. În automatică capătă în prezent o largă răspîndire releele fără contacte, în special cele cu tranzistoare (triggere).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcționarea unui releu are loc în cazul:
   a) închiderii contactelor normal deschise?
   b) deschiderii contactelor normal închise?
   c) depășirii unei anumite valori a mărimii de intrare?
2. Releele fotoelectrice sînt acele elemente care:
   a) comandă variația unui flux luminos?
   b) transformă un flux luminos într-o tensiune anodică?
   c) acționează pe baza unui flux luminos?
3. Releele statice sînt acelea care:
   a) sînt montate fix în instalație?
   b) nu posedă contacte mecanice?
   c) mărimea de intrare nu variază în timp?

4. Releele statice cu tranzistoare funcționează în regim de:
   a) străpungere a bazei?
   b) blocare a joncțiunii emitor-colector?
   c) comutație statică?

Capitolul 5

ELEMENTE DE EXECUȚIE

A. NOȚIUNI GENERALE

Elementul de execuție reprezintă *partea prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.*

Deschiderea sau închiderea unui ventil dintr-o conductă, a unui întreruptor într-o rețea electrică, deplasarea cursorului unui reostat în circuitul de excitare al unui generator sincron etc., sînt tot atîtea moduri de intervenție într-un proces sau instalație tehnologică.

Un element de execuție este format dintr-un organ de execuție (ventil, întreruptor, clapetă, reostat etc.) și un motor de execuție (numit uneori și servomotor) al acestuia. Din punct de vedere structural, organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, iar motorul de execuție poate să și lipsească atunci cînd intervenția în instalația tehnologică se face manual.

ELEMENT DE EXECUȚIE = MOTOR + ORGAN (de execuție)

Introducerea automatizării presupune însă prevederea motoarelor de execuție, adică mecanizarea organelor de execuție.

1. Principiul de funcționare

În general, elementele de execuție au ca principiu de funcționare fie *variația unui debit de fluid* prin modificarea secțiunii de trecere, fie *modificarea cantității de substanță* (energie) *produsă de o sursă.*

Modificarea cantității de substanță sau de energie poate fi realizată în două moduri:

— *continuu* — atunci cînd cantitatea respectivă trebuie modificată în mod continuu între două valori limită. De exemplu, un ventil modifică continuu cantitatea (debitul de fluid ce trece printr-o conductă), între zero (ventil închis) și valoarea maximă corespunzătoare ventilului complet deschis;

— *discontinuu* — atunci cînd cantitatea respectivă este modificată discontinuu (discret), numai pentru două valori limită, dintre care una este în general zero („tot sau nimic"). De exemplu, la un întreruptor electric avînd numai două poziții posibile (deschis sau închis), curentul ce-l străbate poate avea valoarea zero sau o valoare nominală oarecare.

2. Tipuri de elemente de execuție

Marea diversitate a proceselor tehnologice supuse automatizării a impus o mare diversitate de elemente de execuție. Ținînd seamă însă de natura sursei de energie pentru alimentarea motoarelor, elementele de execuție se pot clasifica în (fig. 5.1):

— *elemente de execuție electrice;*
— *elemente de execuție pneumatice;*
— *elemente de execuție hidraulice.*

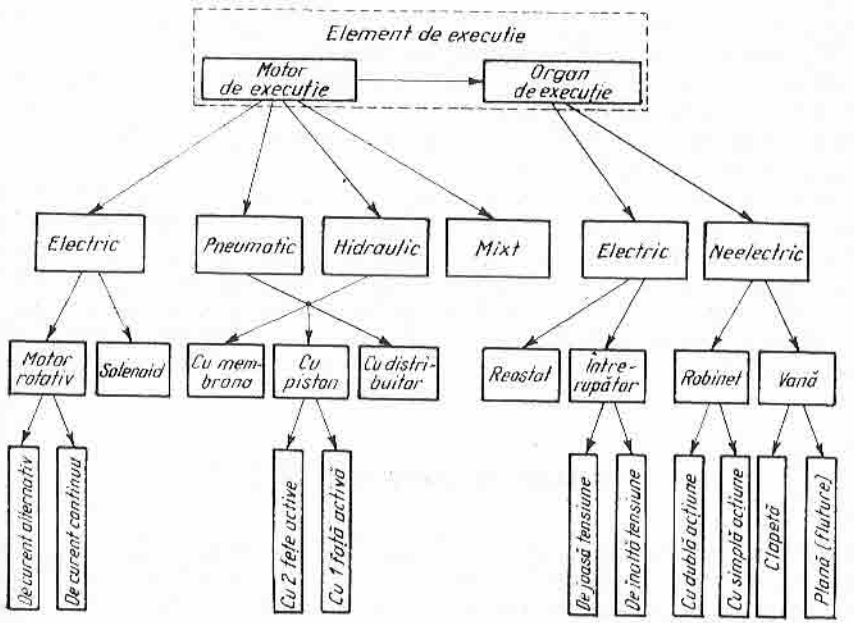


Fig. 5.1. Clasificarea elementelor de execuție.

Organele de execuție cel mai des utilizate pentru modificarea cantității de substanță (lichide sau gaze) sînt: robinetul, vana plană, vana clapetă etc.

Aceste tipuri de organe de execuție necesită motoare de execuție cu mișcări corespunzătoare.

Organele de execuție cel mai des întîlnite în instalațiile electroenergetice sînt: întreruptoarele, reostatele etc.

B. ELEMENTE DE EXECUȚIE ELECTRICE

În principiu, aceste tipuri de elemente se împart în două categorii de bază, și anume: *cu electromotor* și *cu electromagnet* (solenoid).

● **Elementele de execuție cu electromotor** asigură o mișcare circulară continuă care, în general, este redusă de circa 100—200 ori cu ajutorul unui reductor mecanic de turație.

Electromotoarele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu folosite sînt de obicei cele cu excitație separată.

Viteza de rotație depinde de mărimea semnalului aplicat, iar sensul de rotație — de polaritatea semnalului respectiv.

Motoarele de curent alternativ sînt fie cele monofazate serie cu colector, fie cele asincrone bifazate.

● **Elementele de execuție cu electromagnet** (solenoid) asigură o mișcare discontinuă, bipozițională (închis-deschis, dreapta-stînga etc.). Principial ele sînt executate ca în figura 5.2. Cînd bobina B primește curentul de comandă I_c, miezul feromagnetic F este supus unei forțe de atracție și învingînd forța resortului R deplasează tija T. În acest mod, dacă tija T este, de exemplu, solidară cu întreruptorul I, se produce închiderea unui circuit electric și aprinderea lămpilor L. La întreruperea curentului I_c prin bobină, resortul R, care s-a armat la comanda inițială, readuce tija T în poziția anterioară și deschide întreruptorul I.

C. ELEMENTE DE EXECUȚIE PNEUMATICE

Aceste elemente folosesc ca sursă de energie aerul comprimat și se construiesc exclusiv pentru mișcarea de deplasare (translație). Principial sînt utilizate următoarele tipuri de elemente de execuție pneumatice: *cu membrană, cu piston și cu distribuitor.*

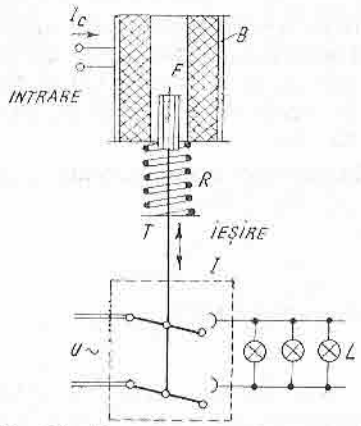


Fig. 5.2. Motor de execuție solenoidal.

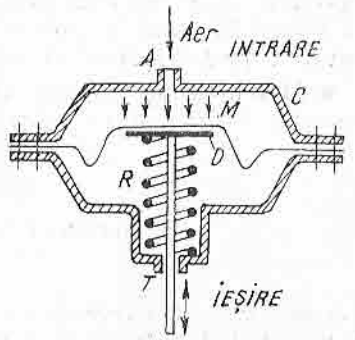


Fig. 5.3. Motor de execuție pneumatic cu membrană.

● **Elementele cu membrană** (fig. 5.3) sînt formate dintr-o capsulă manometrică rotundă C, prevăzută cu o membrană M. Sub membrană se află un disc metalic D solidar cu tija T, prin care se transmite mișcarea, și un resort antagonist R. Aerul comprimat, adus prin conducta A, apasă asupra membranei și, învingînd rezistența resortului antagonist, împinge tija în jos. Se observă că poziția tijei, deci a organului de execuție pe care îl comandă, variază continuu (bineînțeles între două limite) în funcție de presiunea aerului. Aerul comprimat are o presiune de obicei între 0,2 și 1 atm, iar cursa tijei este de 1—6 cm.

● **Elementele cu piston** sînt folosite în cazul cînd sînt necesare deplasări mai mari.

În figura 5.4 este prezentat principial motorul pneumatic cu piston, care poate fi executat în două variante constructive: *cu o față a pistonului activă și cu ambele fețe ale pistonului active.* În prima variantă (fig. 5.4, *a*), aerul intrînd în cilindrul C deplasează în jos tija T. Ca și la elementele cu membrană, deplasarea înapoi se face prin scoaterea aerului din cilindru, respectiv prin destinderea resortului armat; poziția tijei depinde de presiunea aerului comprimat.

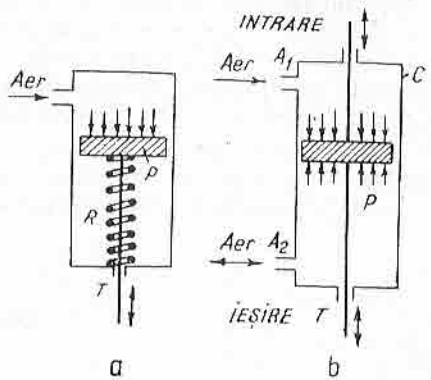


Fig. 5.4. Motor de execuție pneumatic cu piston:
a — cu o față a pistonului activă; *b* — cu ambele fețe active.

În varianta a doua (fig. 5.4, *b*), poziția tijei T depinde de diferența de presiune între cele două fețe ale pistonului P, respectiv de diferența de presiune a aerului adus prin conductele A_1 și A_2. Acest tip de motor este folosit în cazul în care se cer forțe egale de acționare în ambele sensuri, deplasarea fiind de circa 5—12 cm.

● **Motoarele de execuție cu distribuitor** sînt asemănătoare amplificatoarelor hidraulice cu distribuitor (v. fig. 3.8).

D. ELEMENTE DE EXECUȚIE HIDRAULICE

Aceste elemente folosesc ca agent motor un lichid sub presiune, de obicei, uleiul. Din punct de vedere constructiv motoarele hidraulice nu diferă principial de cele pneumatice descrise mai sus; astfel, pot fi motoare hidraulice *cu membrană, cu piston cu o față* și *cu ambele fețe active, cu piston și distribuitor* etc.

Față de cele pneumatice, elementele de execuție hidraulice prezintă următoarele *avantaje:*

— dezvoltă forțe de acționare mult mai mari la aceleași gabarite, datorită presiunii de ulei care poate fi mult mai mare;

— au o acțiune mai rapidă, datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca și elementele pneumatice, cele hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcționa decît cu măsuri speciale de protejare.

Elementele de execuție hidraulice, ca și cele pneumatice, necesită instalații speciale pentru producerea uleiului sub presiune, respectiv a aerului comprimat. Aceste instalații cuprind rezervoare de ulei sub presiune (respectiv aer), diverse pompe, compresoare, conducte, filtre etc.

Necesitatea prevederii unei instalații speciale de producere a agentului motor (ulei sub presiune sau aer comprimat) constituie un dezavantaj al sistemelor pneumatice și hidraulice.

REZUMAT

1. *Elementele de execuție* sînt acele părți ale unui sistem automat prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.

2. *Organul de execuție* face parte integrantă din instalația tehnologică, însă *motorul de execuție* trebuie prevăzut obligatoriu în cazul introducerii automatizării

3. În funcție de agentul motor folosit, elementele de execuție *se împart în*: electrice, pneumatice, hidraulice și mixte.

4. În funcție de organul de execuție, elementele de execuție *pot servi pentru* modificarea cantității de substanță (ventile, vane etc.) sau pentru modificare a cantității de energie electrică (reostate, întreruptoare etc.).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcția elementului de execuție este aceea de:
   a) a executa comenzile primite de la instalația tehnologică?
   b) a modifica valoarea parametrilor din proces?
   c) a transforma o energie (de exemplu electrică) în altă formă de energie, de exemplu hidraulică?
2. Motorul de execuție reprezintă:
   a) o parte constitutivă a elementului de execuție?
   b) o parte constitutivă a instalației tehnologice?
   c) un organ de execuție în care s-a adăugat un element de execuție?
3. Organul de execuție apare absolut necesar la orice instalație tehnologică în următorul caz:
   a) numai la introducerea automatizării?
   b) numai la introducerea telemecanizării?
   c) în orice situație?

Capitolul 6

REGULATOARE

18-02-87

A. NOȚIUNI GENERALE

1. Transferul semnalului în regulator. Reacția secundară

Regulatorul este *acel element de automatizare la intrarea căruia se aplică o mărime numită eroare* (sau *abatere*) ε *și la a cărui ieșire rezultă mărimea de comandă* x_c *care determină acționarea elementului de execuție**.

Măsurarea erorii (sau abaterii ε), care reprezintă diferența dintre valoarea mărimii controlate de regulator și valoarea prescrisă (dinainte stabilită) a acesteia, se realizează cu ajutorul unor traductoare și elemente de comparație.

* Regulatorul este elementul principal din cuprinsul unui sistem de reglare automată (v. cap. 9).

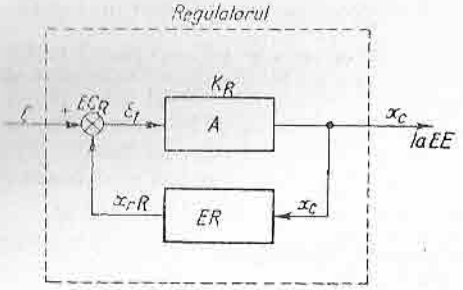


Fig. 6.1. Elementele componente ale regulatorului:
A — amplificator; ER — element de reacție; EC_R — element de comparație al regulatorului; EE — element de execuție.

Prin însăși construcția regulatorului, se asigură o asemenea dependență între mărimea de comandă x_c și eroarea ε, încît, ca urmare a acțiunii elementului de execuție comandat de regulator, să se obțină fie anularea abaterii, fie menținerea acesteia între limite dinainte stabilite.

Cu toate că există o mare varietate de tipuri de regulatoare, orice regulator conține următoarele **elemente componente** (fig. 6.1):

— *amplificatorul*;
— *elementul de reacție*;
— *elementul de comparare*.

● **Amplificatorul,** notat cu A în figura 6.1, este elementul de bază al regulatorului. El amplifică mărimea ε_1 cu un factor K_R, deci realizează o relație de tipul:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon_1(t), \tag{6.1}$$

unde K_R reprezintă factorul de amplificare al regulatorului.

Adeseori, amplificatorul realizează și trecerea la o altă formă de energie.

● **Elementul de reacție,** notat în figura 6.1 cu ER, primește la intrare mărimea de comandă x_c (de la ieșirea amplificatorului) și elaborează la ieșire un semnal x_{rR}, denumit *mărime de reacție* a regulatorului.

● **Elementul de comparare** al regulatorului, notat cu EC_R, efectuează continuu compararea valorilor abaterii ε și a lui x_{rR} după relația:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon(t) - x_{rR}(t). \tag{6.2}$$

Elementul de reacție secundară determină o dependență proporțională între x_{rR} și x_c (el poate fi un traductor, o rețea de corecție pasivă etc.).

2. Clasificarea regulatoarelor

Clasificarea regulatoarelor se poate face după mai multe criterii, dintre care vor fi amintite cele mai importante.

● **În funcție de sursa de energie exterioară folosită,** regulatoarele se clasifică în *regulatoare directe* — atunci cînd nu este necesară o sursă de energie exterioară, transmiterea semnalului realizîndu-se pe seama energiei interne — și *regulatoare indirecte* — care folosesc o sursă de energie exterioară pentru acționarea elementului de execuție.

● **După viteza de răspuns,** regulatoarele se clasifică în *regulatoare pentru procese rapide,* folosite pentru reglarea automată a instalațiilor tehnologice care au constante de timp mici (mai mici de 10) și *regulatoare pentru procese lente,* folosite atunci cînd constantele de timp sînt mari (depășesc 10 s).

● **După tipul acțiunii,** pot fi *regulatoare cu acțiune continuă* și *regulatoare cu acțiune discretă.*

Regulatoare cu acțiune continuă sînt cele în care mărimile $\varepsilon(t)$ și $x_c(t)$ variază continuu în timp (mărimi analogice); dacă dependența dintre cele două mărimi este liniară (în sensul proporționalității), regulatorul se numește *liniar,* iar dacă este neliniară — regulator *neliniar.*

Regulatoarele cu acțiune discretă (sau regulatoarele discontinue) sînt cele la care mărimea $\varepsilon(t)$, deci și $x_c(t)$ reprezintă un tren de impulsuri; la aceste regulatoare există o relație discontinuă între abatere și mărimea de execuție.

● **După caracteristicile constructive,** se deosebesc *regulatoare unificate* și *regulatoare specializate.*

Regulatoarele unificate se pot utiliza pentru reglarea a diferiți parametri (temperatură, presiune, debit etc.), iar cele specializate — numai pentru o anumită mărime, caracteristică pentru un proces dat.

● **După agentul purtător de semnal,** regulatoarele sînt *de tip electronic, electromagnetic, hidraulic* sau *pneumatic.*

Clasificarea regulatoarelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale este prezentată schematic în figura 6.2.

B. REGULATOARE CU ACȚIUNE CONTINUĂ

La aceste regulatoare, mărimea de comandă este influențată în mod continuu de mărimea reglată. De aceea, este în principiu posibil să se dea mărimii de execuție acea valoare care este necesară pentru menținerea constantă a valorii prescrise a mărimii reglate.

Un rol deosebit îl au *regulatoarele cu acțiune continuă liniare.*

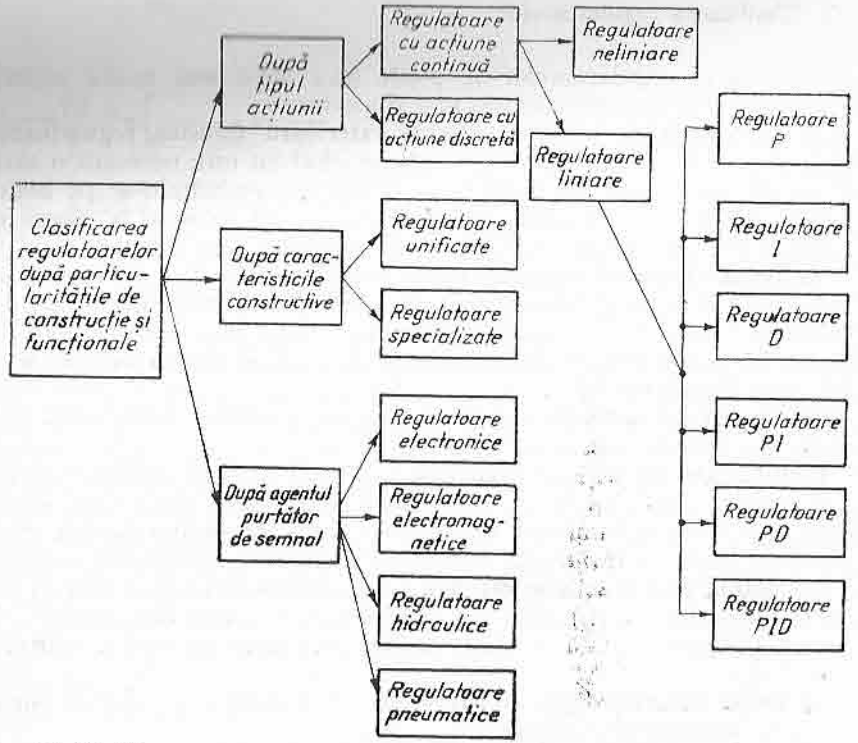


Fig 6.2. Clasificarea regulatoarelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale.

1. Regulatoare liniare

Se numesc regulatoare liniare toate regulatoarele cu acțiune continuă în care legea de reglare, adică *dependența dintre* $x_c(t)$ și $\varepsilon(t)$, are un caracter liniar.

Din clasificarea prezentată în figura 6.2, rezultă că regulatoarele liniare sînt de șase **tipuri**: *regulatoare cu acțiune proporțională*, notate cu P; *regulatoare cu acțiune integrală*, notate cu I; *regulatoare cu acțiune diferențială* — D; *regulatoare cu acțiune proporțional-integrală* — PI; *regulatoare cu acțiune proporțional-diferențială* — PD și *regulatoare cu acțiune proporțional-integral-diferențială*, notate cu PID.

a. Regulatoare cu acțiune proporțională (P)

Aceste regulatoare stabilesc, între mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$ și cea de comandă $x_c(t)$ o relație de proporționalitate:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon(t), \tag{6.3}$$

în care K_R este *factorul de amplificare* al regulatorului.

Astfel, în cazul în care mărimea de intrare este o funcție treaptă unitară (fig. 6.3, *a*), mărimea de ieșire va fi de asemenea o funcție treaptă (fig. 6.3, *b*), dar amplificată prin K_R. În realitate, mărimea de comandă nu poate urmări instantaneu variațiile mărimii de acționare, datorită inerției elementelor din cuprinsul regulatorului și, din această cauză, răspunsul real va avea aspectul indicat în figura 6.3, *b* cu linie întreruptă.

Uneori, în locul factorului de amplificare K_R se folosește o altă constantă, denumită *banda de proporționalitate* a regulatorului P, care se notează cu BP. Cînd domeniul de variație al mărimii de acționare a regulatorului (abaterea ε) este egal cu domeniul de variație al mărimii de comandă, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{1}{K_R}\ 100[\%].$$

Dacă domeniul de variație al mărimii ε diferă de cel al lui x_c, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{100}{K_R} \cdot \frac{\text{domeniul } \varepsilon}{\text{domeniul } x_c}\ [\%]. \tag{6.5}$$

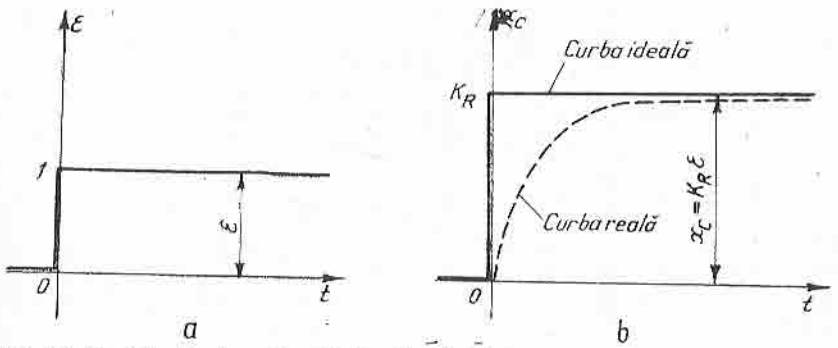


Fig. 6.3. Variația tip treaptă unitară aplicată la intrarea unui regulator automat (*a*) și variația obținută la ieșirea lui (*b*).

● **Regulator P cu acțiune indirectă.** În figura 6.4 este prezentată simplificat *reglarea automată a presiunii unui fluid utilizînd un regulator de tip P cu acțiune indirectă* (cu sursă de energie exterioară). În acest exemplu, parametrul ce se reglează este presiunea fluidului din conducta *5*.

Ansamblul regulator-element de execuție conține următoarele **elemente:** traductorul de reacție, elementul de prescriere, elementul de comparare, amplificatorul cu distribuitor, elementul de execuție.

— *Traductorul de reacție* (elementul de măsurare) este format din membrana elastică *1* care convertește variațiile presiunii din conducta *5* în variații de deplasare liniară ale tijei fixate de membrană.

— *Elementul de prescriere 3* este elementul cu ajutorul căruia se fixează valoarea de consemn a presiunii din conductă. Prin intermediul resortului *2*, elementul de prescriere deplasează punctul *A* al tijei *ABC*.

— *Elementul de comparare 9* este format din pîrghia *ABC*.

— *Amplificatorul cu distribuitor 4* folosește ca sursă de energie exterioară un fluid cu presiunea p_0. Existența acestui amplificator este legată de necesitatea elaborării semnalului capabil să acționeze pistonul *7* al elementului de execuție.

— *Elementul de execuție* este format din cilindrul *8*, pistonul *7* și clapeta de închidere *6*.

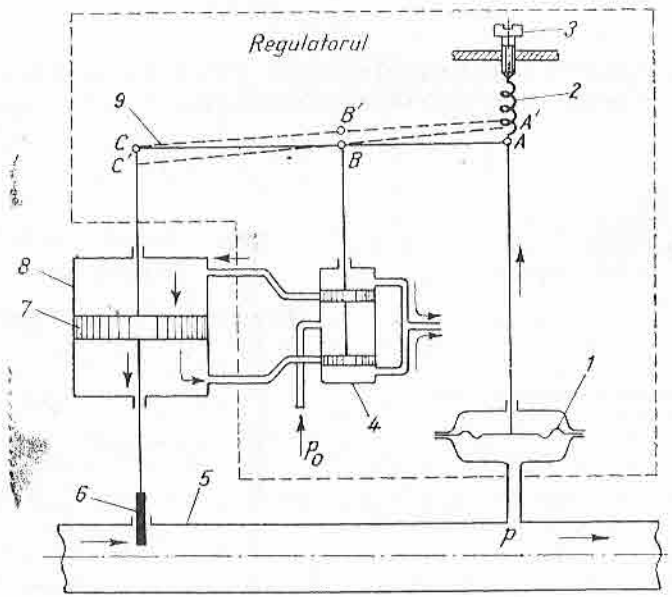


Fig. 6.4. Regulator *P* cu acțiune indirectă.

Se presupune că inițial presiunea din conductă se află la valoarea nominală p_n (denumită și *valoare de consemn*) și că la un moment dat are loc *o creștere a presiunii* $p(p > p_n)$. În aceste condiții, se produc următoarele modificări în funcționarea dispozitivului:

— membrana *1* se deformează sub acțiunea presiunii p și tija de legătură cu membrana se deplasează în sus, comprimînd resortul *2*; ca urmare, punctul *A* se deplasează în *A'*;

— elementul de comparare *9* își modifică poziția și se stabilește pe linia *A'B'C'*, antrenînd și tija cu pistonașe a amplificatorului *4*;

— orificiul de legătură dintre amplificatorul *4* și elementul de execuție *8*, din partea de sus a amplificatorului, se deschide puțin (deschiderea este cu atît mai mare, cu cît abaterea lui p de la valoarea p_n a fost mai mare) și fluidul sub presiunea p_0 intră pe fața superioară a pistonului *7*, împingîndu-l în jos;

— clapeta *6* obturează mai mult din secțiunea de trecere a fluidului din conducta *5* și presiunea p scade, tinzînd spre p_n; în această situație, elementul de comparare revine la poziția *ABC*.

În cazul în care presiunea p ar fi scăzut față de valoarea nominală, respectiv $p < p_n$, acțiunea regulatorului ar fi fost inversă, tinzînd să ducă la creșterea lui p.

b. Regulatoare cu acțiune integrală (I)

Denumirea de regulatoare cu acțiune integrală derivă de la tipul de dependență între mărimea de acționare (abaterea ε) și mărimea de comandă (x_c) pe care o realizează acest tip de regulatoare, și anume:

$$x_c(t)] = K_I \int_0^t \varepsilon(t)\, dt. \qquad (6.6)$$

Relația (6.6) arată că mărimea de comandă (de la ieșirea regulatorului) depinde de integrala abaterii ε. Constanta K_I, care este fixată prin construcția regulatorului, se numește *factor de amplificare* al regulatorului I.

În loc de constanta K_I, se mai utilizează valoarea inversă a acesteia

$$T_I = \frac{1}{K_I}, \qquad (6.7)$$

în care T_I se măsoară în unități de timp și se numește *constanta de timp de integrare.*

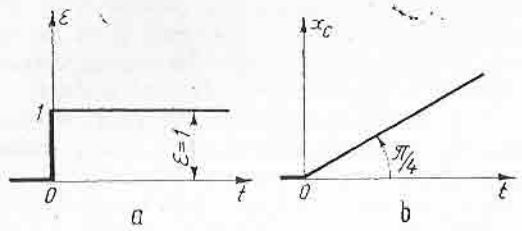


Fig. 6.5. Răspunsul unui regulator *I* la o intrare treaptă unitară.

La acest tip de regulatoare, o abatere treaptă unitară creează ca răspuns o mărime de comandă de forma unei rampe (fig. 6.5) înclinate cu $\frac{\pi}{4}$.

Dacă se derivează ambii membri ai relației (6.6), rezultă:

$$\frac{\mathrm{d}x_c(t)}{\mathrm{d}t} = K_I \varepsilon(t). \tag{6.8}$$

Rezultă că la regulatoarele I viteza de variație a mărimii de comandă $\frac{\mathrm{d}x_c(t)}{\mathrm{d}t}$ este proporțională cu abaterea (în cazul prezentat în figura 6.5, ea este constantă).

c. *Regulatoare cu acțiune diferențială (D)*

Regulatoarele cu acțiune diferențială realizează o lege de reglare în care mărimea de ieșire a regulatorului (sau mărimea de comandă) este proporțională cu derivata mărimii de intrare. Exprimarea matematică a legii de reglare a acestor regulatoare este:

$$x_c(t) = K_D \frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}. \tag{6.9}$$

Altfel spus, mărimea de comandă este proporțională cu viteza de variație a erorii (sau abaterii).

În relația (6.9), coeficientul K_D depinde de construcția regulatorului și se numește *factor de amplificare* al regulatorului D.

Formele mărimilor de comandă ce se obțin în aceste regulatoare, ca răspuns la diferite tipuri de variație a abaterii, sînt arătate în figurile 6.6 și 6.7. În figura 6.6 se arată că pentru o abatere în treaptă unitară se obține impulsul unitar (Dirac) ca mărime de comandă. În figura 6.7 se arată că pentru o variație oarecare a abaterii, mărimea de comandă are practic forma unui impuls.

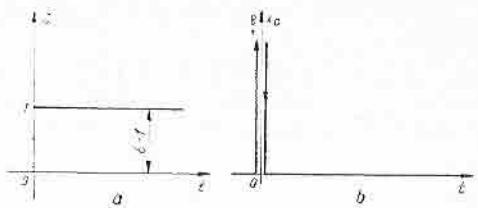


Fig. 6.6. Răspunsul regulatorului D la o intrare treaptă unitară.

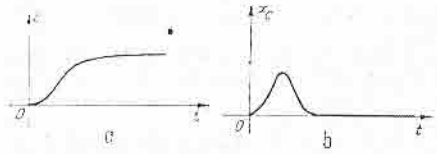


Fig. 6.7. Răspunsul regulatorului D la o variație la intrare de formă oarecare.

Din figura 6.7 rezultă că la o modificare relativ monotonă a lui $\varepsilon(t)$, viteza de variație a abaterii ε crește mai repede decît abaterea, ceea ce face ca regulatorul *D* să acționeze mai rapid decît un regulator P. Pentru a sublinia această particularitate a regulatorului D, se spune că acesta efectuează *o anticipare a modificării mărimii reglate* avînd drept efect o creștere a rapidității răspunsului.

Se observă însă că avantajul pe care îl prezintă regulatoarele D, de a oferi un răspuns foarte rapid, este contracarat de durata foarte mică a intervalului de timp în care se manifestă acest răspuns (v. fig. 6.7).

○ **Concluzii.** Fiecare dintre cele trei tipuri de regulatoare descrise au unele *deficiențe*, care micșorează posibilitățile lor de utilizare.

Astfel, *regulatoarele cu acțiune proporțională P* mențin în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină. Ele pot fi utilizate numai atunci cînd procesul reglat admite o asemenea eroare.

Regulatoarele cu acțiune integrală (I) micșorează stabilitatea sistemelor automate și necesită o durată mai mare a procesului de reglare (în comparație cu cele proporționale).

Regulatoarele D nu pot fi practic utilizate, deoarece ele oferă o mărime de comandă de durată insuficientă pentru a elimina abaterea apărută și, deci, nu pot realiza un regim staționar al reglării.

Aceste deficiențe au condus la apariția unor **regulatoare mixte** din punctul de vedere al modului de acționare, rezultate din combinarea mai multor regulatoare cu acționare P, D sau I, și anume:

— *regulatoare PI* (o combinație între un regulator proporțional și unul integral);

— *regulatoare PD* (o combinație între un regulator proporțional și unul diferențial);

— *regulatoare PID* (o combinație de regulatoare P, I și D).

Se pot obține și alte combinații, de exemplu PD_1D_2 — cu dublă reglare diferențială etc., însă acestea sînt tot mai puțin utilizate.

1. Regulatoare neliniare

Regulatoarele neliniare sînt acele regulatoare la care dependența dintre mărimea de comandă x_c și eroarea ε este neliniară.

În realitate, dependența liniară între x_c și ε se confirmă numai dacă eroarea are valori foarte mici. De aceea, se poate spune că un regulator are o comportare liniară numai pentru un anumit domeniu limitat de variație a erorii $\varepsilon(t)$.

Principalele **tipuri de regulatoare neliniare** sînt următoarele: *regulatoarele cu acțiune tip releu* (de exemplu, regulatoarele bipoziționale și regulatoarele tripoziționale), *regulatoarele cu acțiune discretă* ș.a.

● Un exemplu de **regulator neliniar de tip bipozițional, utilizat la reglarea temperaturii unui cuptor,** este prezentat în figurile 6.8, *a*, *b*, *c*.

Regulatorul bipozițional din figura 6.8, *a* conține un element de măsurat temperatura, realizat cu ajutorul unei lame bimetalice. Aceasta se deformează sub acțiunea temperaturii (fig. 6.8, *b*) oferind posibilitatea măsurării variațiilor de temperatură din cuptor. Pentru fixarea consemnului de temperatură, lama bimetalică se deformează inițial cu șurubul de prescriere pînă la poziția corespunzătoare temperaturii T_p la care dorim să se încălzească cuptorul. La închiderea întreruptorului K_1 se stabilește un circuit electric închis (indicat în figură de săgeți) prin care trece un curent electric I care încălzește cuptorul. Dacă temperatura din cuptor crește continuu și depășește valoarea prescrisă T_p, circuitul va rămîne închis atît timp cît este necesar lamei bimetalice să se curbeze pînă la întreruperea contactului K_2. Neglijînd inerția cuptorului, se poate considera că după întreruperea contactului începe răcirea (fig. 6.8, *c*), pînă cînd temperatura ajunge la valoarea T_2. În timpul răcirii, lama de bimetal tinde să se îndrepte și la temperatura T_2 atinge șurubul, circuitul se închide și cuptorul începe din nou să se încălzească. Aceste conectări și deconectări se repetă permanent atît timp cît funcționează cuptorul, asigurînd în felul acesta o reglare a temperaturii în jurul valorii prescrise, după o caracteristică de *tip releu*.

○ **Notă.** Regulatorul bipozițional mai este denumit și regulator de tipul *tot sau nimic*, deoarece mărimea de comandă x_c primește numai două valori: valoarea maximă („tot") și zero („nimic").

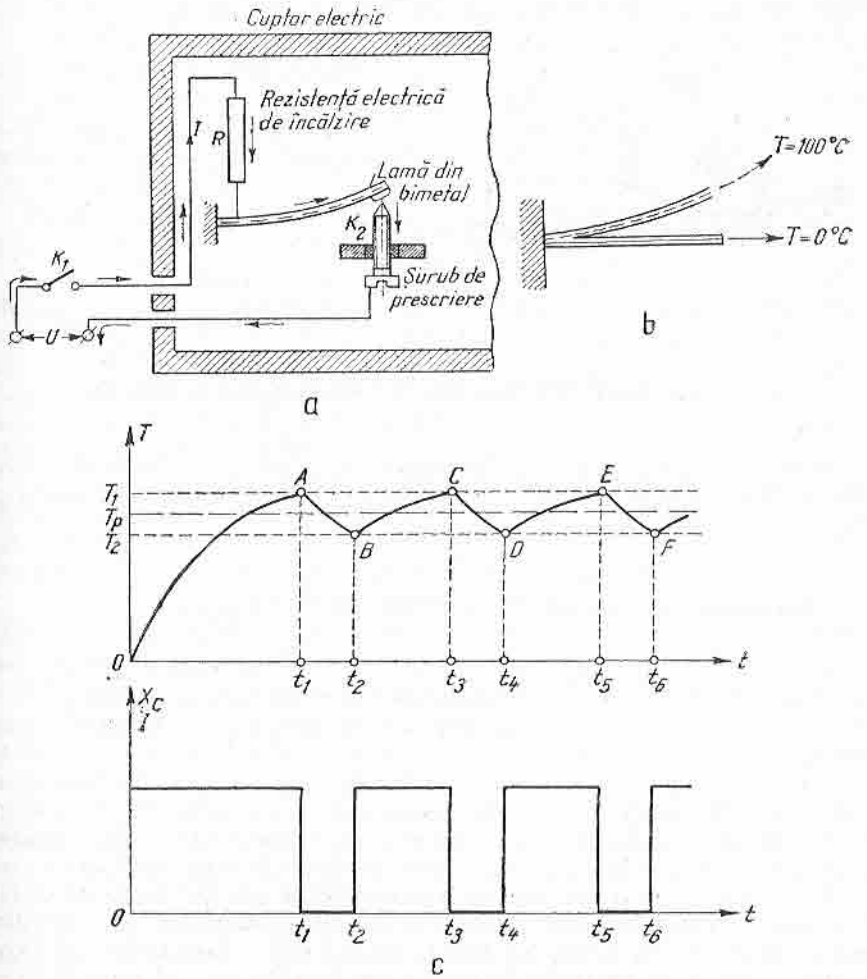


Fig. 6.8. Regulator bipozițional folosit la reglarea temperaturii unui cuptor și caracteristicile lui funcționale.

● O aplicație largă a regulatorului bipozițional o reprezintă **reglarea temperaturii fierului de călcat** (figura 6.9).

La noi în țară se fabrică milivoltmetrul regulator bi- și tripozițional (tip ET-M-10) și logometrul regulator bi- și tripozițional (tip EK-L-10). Valorile parametrului reglat sînt controlate la intervale egale de timp, cu ajutorul unui mecanism acționat de un motor sincron.

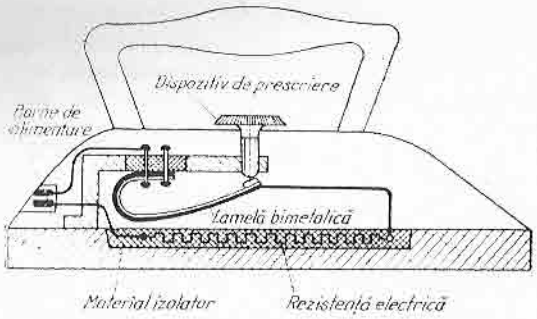


Fig. 6.9. Utilizarea regulatorului bipoziţional la fierul de călcat

C. REGULATOARE SPECIALIZATE ŞI REGULATOARE UNIFICATE

În figura 6.2 s-a arătat că din punctul de vedere al caracteristicilor constructive, regulatoarele se clasifică în regulatoare specializate şi regulatoare unificate.

1. Regulatoare specializate

În prima etapă de dezvoltare a automatizării instalaţiilor şi proceselor s-au fabricat, în exclusivitate, **regulatoare specializate,** destinate, proiectate şi construite pentru un anumit tip de instalaţie tehnologică (sau proces).

Dar, în practică există o mare varietate de procese care se impun a fi automatizate, ceea ce ar implica proiectarea şi producerea unei largi diversităţi de regulatoare şi elemente de automatizare specializate. Aceasta ar conduce la executarea unor produse de serie mică, în loturi insuficient de avantajoase pentru întreprinderile producătoare de astfel de elemente de automatizare, şi ar necesita un consum mare de timp din momentul precizării cerinţelor beneficiarului (tipul instalaţiei sau procesului reglat, performanţele impuse regulatorului etc.) şi pînă la executarea concretă a regulatorului comandat.

2. Regulatoare unificate

Spre deosebire de instalaţiile cu regulatoare specializate, cele cu elemente de automatizare unificate se caracterizează prin stabilirea şi utilizarea unui semnal standard, atît ca natură, cît şi ca nivel. Ele au

fost prevăzute nu numai cu regulatoare unificate, dar chiar cu elemente sau blocuri tip, cu semnale unificate, care îndeplinesc funcţiuni independente şi se caracterizează prin faptul că mărimile (semnalele) de intrare şi de ieşire ale fiecărui element sînt de aceeaşi natură fizică şi au aceleaşi limite ale gamei (domeniului) de variaţie.

Combinarea diferită a regulatoarelor şi elementelor de reglare unificate, cu structură funcţională şi constructivă modulară, permite folosirea sistemelor unificate la automatizarea unor instalaţii cu caracteristic tehnologice diferite.

După agentul purtător de semnal, regulatoarele unificate se împart în *regulatoare unificate pneumatice, hidraulice* şi *electronice.*

- În cazul **regulatoarelor unificate pneumatice,** semnalul unificat adoptat în general este presiunea de 0,2 ... 1 ats (atmosfere suprapresiune). La această presiune redusă, debitul de aer de lucru consumat este mic, viteza de propagare a semnalului este maximă, iar pericolul de condensare a vaporilor de apă, ca urmare a variaţiilor de temperatură, este practic înlăturat. În ţară se produc elemente de automatizare pneumatice în fabrica de la Bîrlad.

- În cazul **regulatoarelor unificate hidraulice** (cu ulei), datele publicate asupra mărimilor adoptate menţionează presiunea uleiului de 1,5 kg/cm² pentru alimentarea regulatorului, cu variaţii ale presiunii de comandă a uleiului între limitele 0,2 ... 1,1 kg/cm².

- În cazul **regulatoarelor unificate electronice,** semnalul unificat adoptat de majoritatea întreprinderilor constructoare de echipamente de automatizare este o mărime electrică (tensiune sau curent) continuă.

○ **Observaţia 1.** Nu se foloseşte un semnal electric alternativ, deoarece acesta ar implica o serie de dificultăţi legate de influenţa impedanţei circuitelor electrice, de defazajele produse, de necesitatea folosirii unor cabluri speciale etc.

○ **Observaţia 2.** Instalaţiile sau procesele tehnologice reglate pot avea constante de timp diferite. Astfel, unele dintre ele se caracterizează prin constante de timp mari (reglarea temperaturii, reglarea debitului, nivelului, presiunii şi concentraţiei la cazanele de abur etc.), pe cînd altele, dimpotrivă, prin constante de timp reduse (reglări de viteză, poziţie, reglarea tensiunii de excitaţie a generatoarelor electrice, reglarea turaţiei motoarelor etc.). Primele se numesc *procese lente,* celelalte *procese rapide.* În cadrul proceselor rapide, un loc important îl ocupă instalaţiile de curenţi tari de tipul echipamentelor electroenergetice şi al acţionărilor electrice. Regulatoarele unificate vor avea deci caracteristici tehnice şi constructive diferite, în funcţie de procesul reglat, deoarece realizarea constantelor de timp diferă de la un caz la altul.

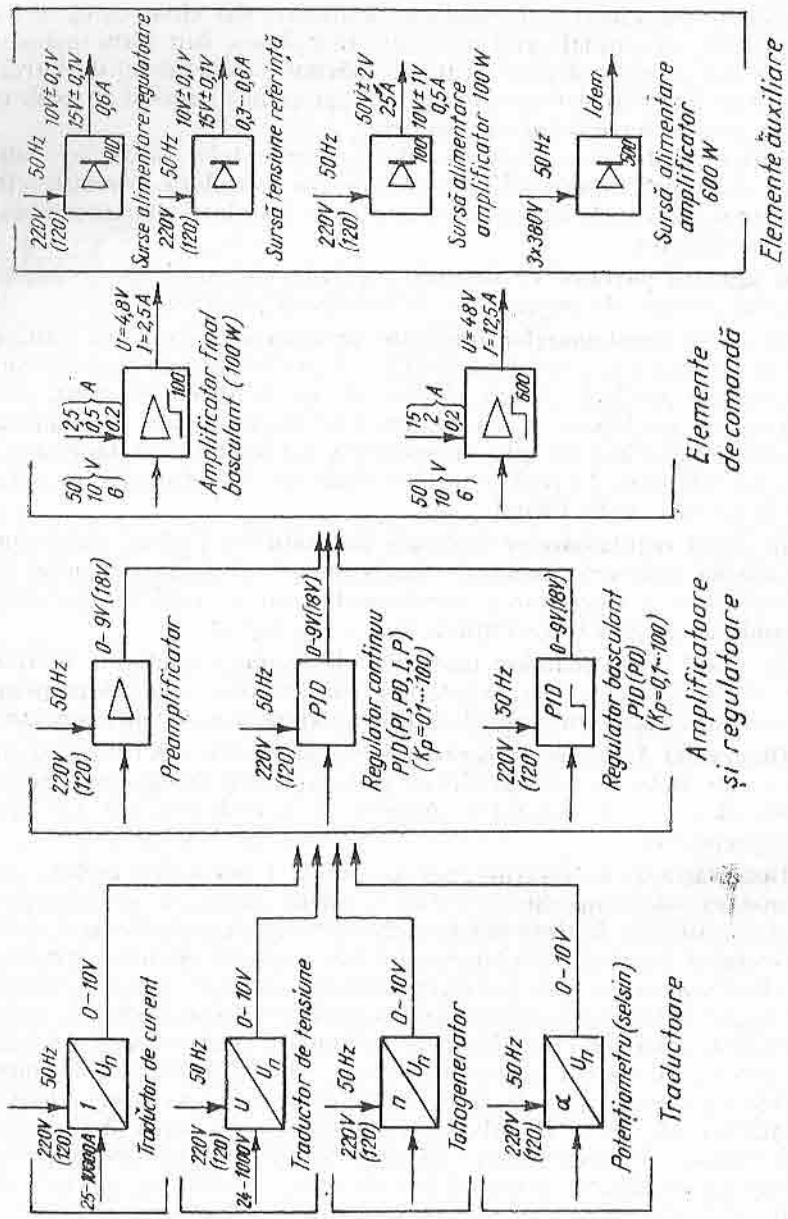


Fig. 6.10 Elemente componente ale sistemului unificat electronic UNIDIN.

În funcție de gama de variație a semnalului unificat electric (limitele domeniului de variație), se întîlnesc două variante de regulatoare:

— *cu nivel minim zero;*

— *cu nivel minim diferit de zero.*

În țara noastră au fost adoptate: varianta cu semnal de nivel minim zero pentru sistemul electronic unificat UNIDIN, destinat reglării proceselor rapide (semnalul unificat fiind o tensiune continuă de +10 V, cu gama de variație 0 ... 10 V) și varianta cu semnal minim diferit de zero pentru sistemul electronic unificat *ε-line*, produs de Întreprinderea de Elemente de Automatizare București, destinat reglării proceselor lente (semnalul unificat fiind un curent continuu, cu gama de variație 2 ... 10 mA).

În figura 6.10 sînt reprezentate elementele componente ale sistemului unificat electronic UNIDIN fabricat în țară, destinat reglării proceselor rapide.

Sistemul UNIDIN poate asigura reglarea diferiților parametri: poziție, viteză, accelerație, curent, tensiune, curent de excitație etc.

Semnalul unificat este tensiunea continuă de ± 10 V (cu o rezervă pînă la ± 12 V). Semnalul de intrare poate fi adaptat la valoarea dorită cu ajutorul unor rezistențe reglabile. Acționarea dorită în regim dinamic (P, PD, PI sau PID) se obține prin aplicarea unei reacții RC adecvate amplificatorului de bază, care este un amplificator operațional tranzistorizat. Sistemul este prevăzut cu surse de tensiune stabilizate, este în întregime tranzistorizat și are circuite imprimate.

D. REGULATOARE ELECTRONICE, PNEUMATICE, HIDRAULICE

1. Regulatoare electronice

Regulatoarele electronice se caracterizează prin faptul că *au în componența lor elemente electrice și electronice sau numai electronice, iar semnalul purtător de informație este de natură electrică.*

Au o utilizare extrem de largă în reglarea proceselor rapide și lente, oferind posibilități de reglare continuă sau discretă.

Principalele *avantaje* ale regulatoarelor electronice sînt: inerția redusă; consumul de putere redus; realizarea relativ ușoară a unor legi diferite de reglare; posibilitatea de a lucra în combinație cu calculatoare electronice etc.

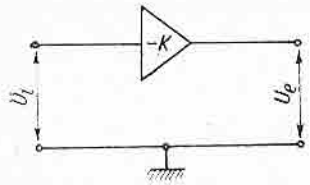


Fig. 6.11. Amplificator de c.c.

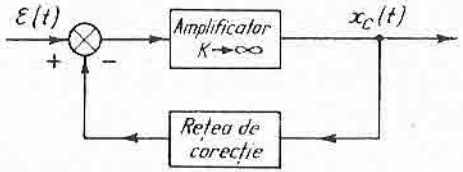


Fig. 6.12. Schema-bloc a unui regulator electronic.

Elementul principal al unui regulator electronic cu acțiune continuă îl constituie *amplificatorul cu reacție cu circuite operaționale*, care realizează relația:

$$U_e = -KU_i, \tag{6.10}$$

în care U_i și U_e sînt respectiv tensiunile de intrare și ieșire, iar K este factorul de amplificare (fig. 6.11).

Din relația (6.10) se vede că amplificatorul de curent continuu schimbă semnul mărimii de intrare.

Legea concretă de reglare a instalației date se realizează, pentru regulatoarele tipizate, prin circuite de corecție aplicate amplificatorului de curent continuu. De aceea, regulatoarele electronice se construiesc, în general, utilizînd un amplificator de c.c. cu factor de amplificare foarte mare, avînd o rețea de corecție pasivă în jurul lui (fig. 6.12).

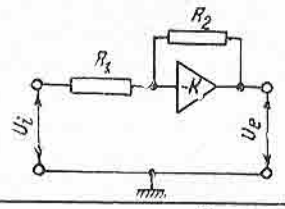
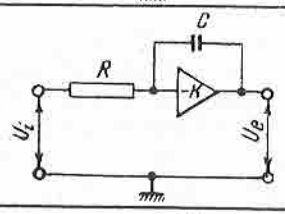
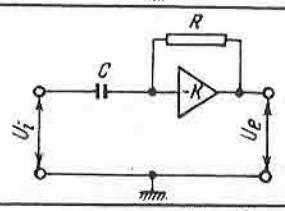
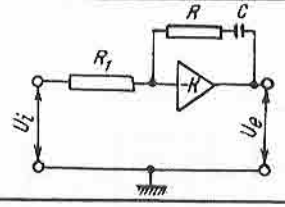
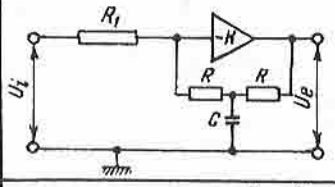
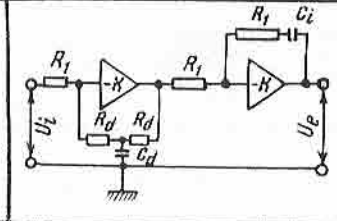
Structurile în care se realizează diferite regulatoare electronice tipizate sînt date în tabelul 6.1.

Ca exemplu, în continuare sînt prezentate două tipuri de bază dintre regulatoarele electronice fabricate de I.E.A.-București.

● **Regulatoare electronice cu semnal unificat de tipul ELC.** Regulatoarele de tipul ELC sînt regulatoare continue pentru procese lente care fac parte din sistemul unificat *ε-line* produs de IEA-București și permit realizarea unei reglări PI sau PID. Se construiesc în patru variante, care diferă puțin între ele. Schema-bloc a regulatorului se prezintă în figura 6.13.

Regulatorul conține un amplificator operațional cu modulare-demodulare. Modulatorul primește de la oscilatorul local semnal sinusoidal cu frecvența de 500 Hz. Pe lîngă funcția sa de a modula semnalul de intrare, el are și rolul de element intern de comparație, însumînd algebric semnalul de eroare primit prin circuitul de comparație cu rezistențe și semnalul de la ieșirea circuitului de reacție operațional.

Tabelul 6.1

Tipul regulatorului	Schema bloc a regulatorului electronic	Dependența dintre mărimea de acționare și mărimea de comandă
P		$U_e = -\frac{R_2}{R_1} U_i$
I		$U_e = -\frac{1}{RC}\int U_i\, dt$
D		$U_e = -RC\frac{dU_i}{dt}$
PI		$U_e = -\left(\frac{R}{R_1}U_i + \frac{1}{RC}\int U_i\, dt\right)$
PD		$U_e = \frac{2R}{R_1}\left(U_i + T_D\frac{dU_i}{dt}\right)$ unde $T_D = \frac{RC}{2}$
PID		$U_e = -\frac{2R_d R_i}{R_1^2}\left[\left(1+\frac{T_D}{T_I}\right)U_i + \frac{1}{T_D}\frac{dU_i}{dt} + \frac{1}{T_I}\int U_i\, dt\right]$ unde $T_I = R_1 C_i$, $T_D = \frac{R_d C_d}{2}$

Semnalul lent variabil rezultat este înfășurătoarea unui semnal sinusoidal de 1 000 Hz ce apare la ieșirea modulatorului; semnul acestuia face ca el să fie în fază sau în opoziție de fază cu semnalul dreptunghiular de 1 000 Hz furnizat de același oscilator local. Semnalul modulat se aplică blocului amplificator de c.a., format din trei etaje de amplificare, și demodulatorului sincron. La ieșirea acestuia se obține o tensiune continuă proporțională cu semnalul de 1 000 Hz al modulatorului și a cărei polaritate este funcție de faza semnalului de c.c. În continuare se realizează o netezire a acestui semnal cu ajutorul unor condensatoare în derivație pe rezistența de sarcină. Amplificarea în putere se realizează cu două tranzistoare cu siliciu.

Circuitele de reacție se realizează cu rezistențe și capacități, formînd rețele pasive asemănătoare cu cele utilizate pentru realizarea structurilor de regulatoare PI și PID din tabelul 6.1. În funcție de structura circuitului de reacție, se pot realiza cele două legi de reglare, PI sau PID.

Parametrii de bază ai regulatorului pentru varianta PID sînt:
— banda de proporționalitate: $BP = 0{,}5 \ldots 200\%$;
— $T_I = 10$ s ... 30 min;
— $T_D = 0{,}5$ s ... 10 min;
— semnal unificat 2 ... 10 mA;
— impedanța de sarcină: 3 kΩ.

Regulatorul este prevăzut cu un comutator care face trecerea AUTOMAT-MANUAL. Sînt prevăzute și două aparate de măsurat: M_1 — pentru măsurarea abaterii ε și M_2 — pentru măsurarea mărimii de comandă x_c.

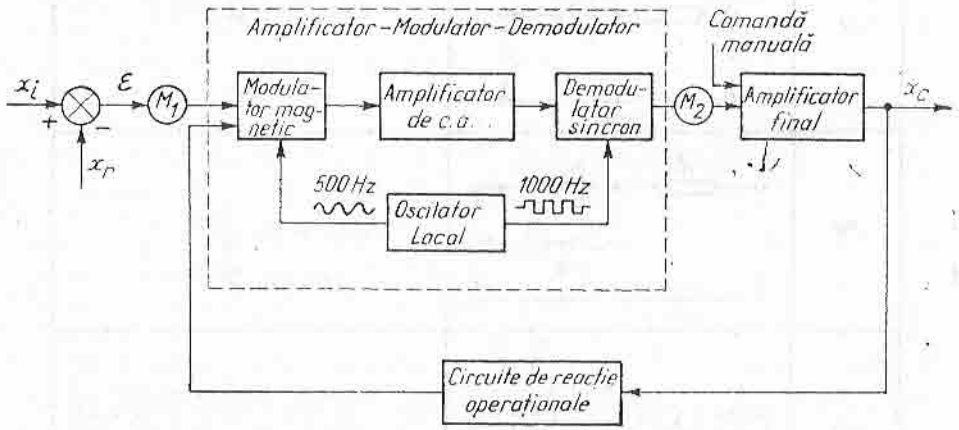


Fig. 6.13. Schema-bloc a regulatorului electronic cu semnal unificat tip ELC.

Operația de modulare — amplificare — demodulare se face cu scopul de a asigura amplificarea semnalului continuu cu un amplificator de curent alternativ.

În tabelul 6.2 sînt arătate principalele caracteristici ale regulatoarelor ELC, fabricate în țară.

● **Regulatorul electronic unificat** *UNIDIN*. Regulatorul electronic unificat *UNIDIN* este un regulator tranzistorizat, folosit în reglarea proceselor rapide, de tipul acționărilor electrice. Legea de reglare este

Tabelul 6.2

Caracteristicile regulatoarelor ELC

Caracteristici tehnice	Regulatoare ELC 111	Regulatoare ELC 111 A	Regulatoare ELC 113	Regulatoare ELC 113 A
Posibilități de reglare	Manuală și automată	Manuală și automată	Manuală și automată	Manuală și automată
Legea de reglare	PID	PI	PID	PI
Gama de indicare	—	—	± 15% din întreaga scală în jurul valorii de referință	± 15% din întreaga scală în jurul valorii de referință
Pecizia indicării	—	—	1%	1%
Banda de proporționalitate	2 ... 200%, în 24 de trepte	4 ... 400% în 24 de trepte	2 ... 200%, în 24 de trepte	4 ... 400% în 24 de trepte
Timpul de integrare	10 s ... 30 min, în 24 de trepte	1 ... 100 s, în 24 de trepte	10s ... 20min, în 24 de trepte	1 ... 100%, în 24 de trepte
Mărimea de intrare	2 ... 10 mA curent continuu		0,4 ... 2 V curent continuu	
Mărimea de referință	2 ... 10 mA curent continuu		0,4 ... 2 V curent continuu	
Mărimea de ieșire	2 ... 10 mA curent continuu			
Rezistența de sarcină	0 ... 3 kΩ			
Temperatura mediului ambiant	−10°C pînă la +45°C			
Timpul de deservire	5s ... 10 min, în 42 de trepte	—	5s ... 10 min în 24 de trepte	—
Tensiunea de alimentare	220 V, 50 Hz	220V, 50Hz	220V, 50 Hz	220 V, 50 Hz

stabilită de circuitele de corecție care se aplică amplificatorului. În cazul în care este necesară o putere de ieșire mică, regulatorul este cu acțiune continuă; pentru puteri de ieșire mai mari el este de tip basculant.

Regulatorul UNIDIN poate realiza reglări de tipul PI, PD și PID (v. tabelul 6.1).

2. Regulatoare pneumatice

Folosirea regulatoarelor pneumatice se datorește *avantajelor* acestora, adică ele prezintă o mare siguranță în funcționare și nu necesită personal cu calificare ridicată în exploatare, sînt robuste, de construcție simplă, și relativ mai ieftine decît cele electronice. În plus, ele pot funcționa în medii inflamabile sau explozive, întrucît este exclusă posibilitatea apariției unor scîntei (posibilitate prezentă la cele electronice).

Dezavantajul principal al regulatoarelor pneumatice îl constituie raza de acțiune redusă. Astfel, regulatoarele pneumatice nu se pot utiliza la distanțe mai mari de 300 m, deoarece intervin întîrzieri în transmiterea semnalelor. În plus, ele necesită instalații anexe de producere a aerului comprimat, conducte de legătură etc.

a. Regulator pneumatic cu comportare P

În figura 6.14 este reprezentat un regulator pneumatic cu comportare P.

Regulatorul are sarcina de a *menține constantă presiunea* p din conducta *1*, prin variația secțiunii de trecere a conductei cu ajutorul ventilului cu membrană 2.

Presiunea din conductă acționează asupra burdufului metalic *BM* și exercită prin aceasta o forță asupra pîrghiei *3*, care se poate roti în jurul articulației *4*. Forța care acționează pîrghia este proporțională cu presiunea din conductă și cu aria burdufului.

La extremitatea din stînga a pîrghiei *3* se află clapeta *5* plasată în dreptul duzei *6*, alimentată cu aer comprimat la o presiune aproximativ constantă ($p_0 = 1, 2 \ldots, 1{,}4$ kgf/cm²). Înainte de duză se derivă conducta cu aer la presiunea de execuție p_e spre ventilul cu membrană *2* (elementul de execuție). Atunci cînd clapeta *5* se găsește foarte aproape de duză, presiunea de execuție p_e crește pînă la o valoare foarte apropiată de presiunea de alimentare p_0. Dacă însă clapeta se găsește la distanță

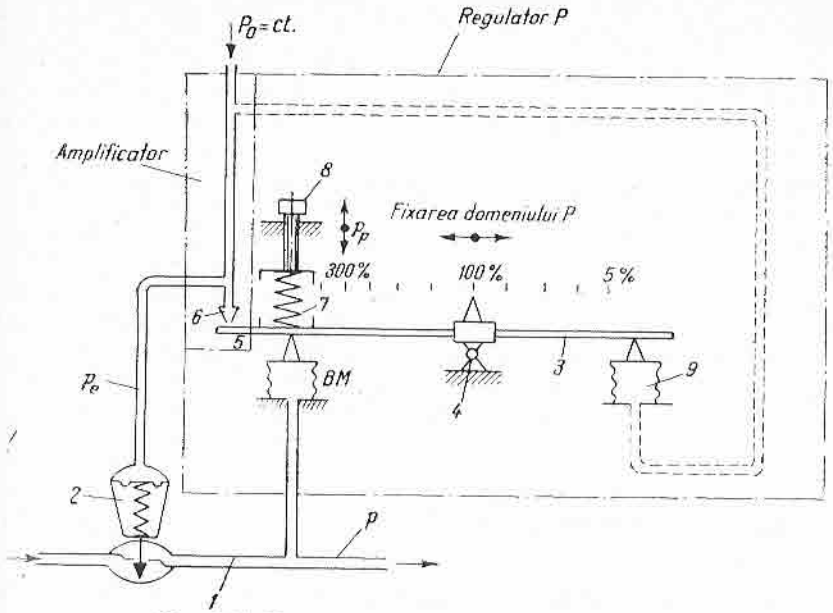


Fig. 6.14. Regulator pneumatic cu comportare P.

mare de duză, presiunea de execuție p_e scade pînă aproape de zero. Deci, prin modificarea distanței dintre duză și clapetă, presiunea de execuție poate fi variată între o valoare apropiată de zero și o valoare apropiată de p_0.

Factorul de amplificare al regulatorului este mare, deoarece pentru deplasarea clapetei nu este necesară decît o energie extrem de mică, în vreme ce presiunea de execuție (cu valori maxime de aproximativ 1 daN/cm²) poate dezvolta o forță de execuție considerabilă.

Presiunea de execuție p_e acționează asupra membranei ventilului *2* și învinge forța unui resort, deplasînd capul ventilului și modificînd secțiunea de trecere în conducta *1*.

Pentru fixarea consemnului de presiune (adică a valorii dorite a presiunii în conducta *1*), se armează resortul *7* cu ajutorul șurubului *8*.

În scopul lărgirii domeniilor de lucru și pentru creșterea stabilității regulatorului, se poate introduce reacția rigidă, reprezentată prin linii întrerupte în figura 6.14. Introducerea unui burduf de reacție *9* pe legătura de reacție, transformă funcționarea sistemului dintr-o funcționare cu deviație a echipajului mobil într-o funcționare cu compararea forțelor.

Una dintre forțe este proporțională cu presiunea reglată p, cealaltă este proporțională cu mărimea de execuție. Dacă, de exemplu, la creșterea presiunii în conductă clapeta se apropie de duză, presiunea de execuție p_e crește puțin și determină — prin intermediul burdufului *9* — o forță antagonistă mărită, care acționează în sensul creșterii distanței dintre duză și clapetă.

Prin mutarea punctului de articulație *4* se variază, după dorință, lungimea brațelor pîrghiei *3* și prin aceasta, influența exercitată de burduful de reacție. De exemplu, dacă acest punct se găsește aproape de burduful *9*, se obține o influență mică a reacției, o amplificare mare și un domeniu de proporționalitate mic. Dacă, dimpotrivă, punctul de articulație se află în apropierea burdufului de măsurat *BM*, se obține o reacție puternică, o amplificare mică și un domeniu de proporționalitate mare. De regulă, domeniul de proporționalitate al regulatorului poate fi reglat între 5 și 300%, prin deplasarea punctului de articulație *4*.

b. Regulatoare pneumatice unificate

Se fabrică și regulatoare pneumatice unificate; după cum s-a mai arătat, pentru aceste regulatoare a fost adoptat ca semnal unificat presiunea de 0,2 ... 1 ats. În construcția regulatoarelor pneumatice unificate se utilizează în prezent principiul echilibrării forțelor, obținîndu-se o sensibilitate ridicată a regulatorului.

Elementele elastice folosite în construcția regulatoarelor pneumatice unificate sînt *membranele* (la blocurile unificate fabricate la noi în țară și la sistemele AUS — de fabricație sovietică, Honneywell Tel-O-Set-faoricat SUA etc.) și *burdufurile* (la sistemele Siemens-Teleperm — fabricat în R.F.G., Foxboro Consotrol — în SUA etc.).

În afară de blocurile regulatoare cu semnal pneumatic unificat, sistemele de reglare pneumatice unificate mai cuprind: traductoare primare (elemente sensibile) și adaptoare, elemente indicatoare și înregistratoare, elemente de execuție pneumatice, elemente de calcul etc. În țara noastră se dezvoltă continuu producția de elemente pneumatice de automatizare pentru echiparea sistemelor de automatizare și de calcul automat.

○ **Observație.** Se extinde — în prezent — folosirea regulatoarelor electrono-pneumatice, care conțin atît elemente electronice, cît și elemente pneumatice. De obicei, acestea se obțin prin combinarea elementelor unificate electronice și a celor pneumatice, cu ajutorul unor convertoare electrono-pneumatice și al unor convertoare pneumo-electronice.

Folosirea regulatoarelor hidraulice se datorește, în principal, acelorași avantaje prezentate cu privire la regulatoarele pneumatice.

În figura 6.15 este reprezentat un regulator hidraulic, utilizat pentru *menținerea unei presiuni constante*. Mărimea reglată este presiunea p a fluidului din conducta *1*. Se presupune că presiunea de consemn p_n este fixată cu elementul de prescriere *7*, prin intermediul resortului *6*. În acest caz, uleiul sub presiune care intră în conducta *5*, trece prin tubul *4* al amplificatorului hidraulic cu jet și se repartizează în mod egal prin canalele *9* și *10*. Aceasta se datorește faptului că tubul *4* este dispus simetric față de orificiile din placa frontală *8*.

Se consideră că *s-a produs o creștere a presiunii în conductă*, ca urmare a unei variații de debit, deci $p > p_n$. Membrana *2* a traductorului de reacție se deformează și transmite axei *3* o deplasare liniară Δh. Deplasarea axei *3* face ca tubul *4* să se rotească cu un unghi α în jurul punctului *A*; uleiul intră prin conducta *10* în camera inferioară a cilindrului *11* și obligă pistonul *12* (elementul de execuție) să se ridice. Mișcarea pistonului *12* (mărimea de execuție x_m) se transmite prin tija *13* clapetei *14*, care micșorează secțiunea de trecere a fluidului, diminuînd în felul acesta presiunea p. Pe măsură ce presiunea p scade și se apropie de p_n, membrana revine la forma inițială. Tubul *4* al amplificatorului este readus de resortul *6* în poziția pe care a ocupat-o în regim staționar. În

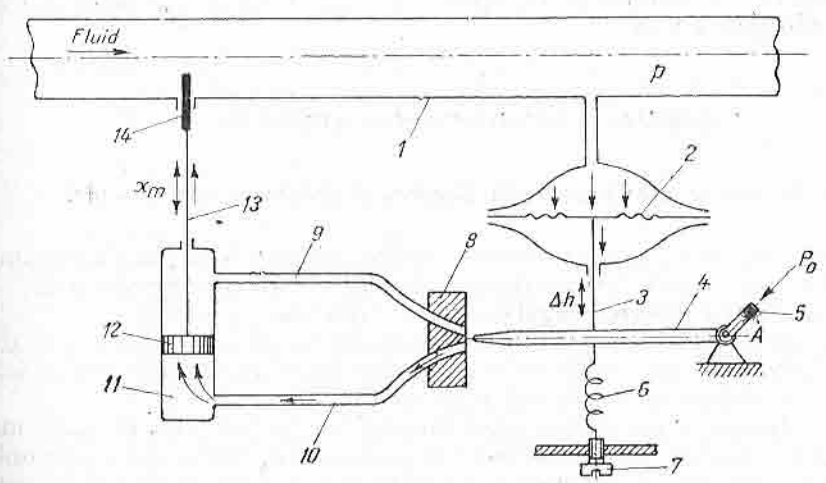


Fig. 6.15. Regulator hidraulic cu comportare I.

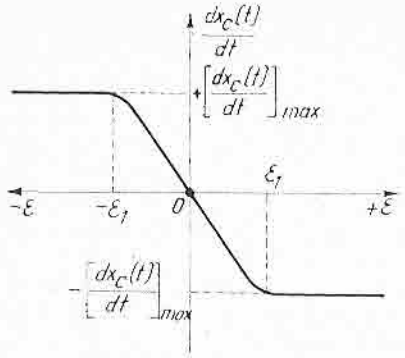


Fig. 6.16. Dependența $\frac{dx_c(t)}{dt}$ în funcție de abaterea ε.

felul acesta, acțiunea dispozitivului de automatizare se continuă pînă cînd presiunea p a revenit la valoarea nominală p_n, deci eroarea staționară este zero, ceea ce reprezintă o caracteristică a regulatoarelor de tip I.

Deplasarea unghiulară a tubului *4* este proporțională cu abaterea ε. Cu cît abaterea este mai mare, cu atît este mai mare viteza de variație a presiunii în una din conductele *9* sau *10*, care reprezintă mărimea de comandă x_c. Reprezentînd $\frac{dx_c(t)}{dt}$ în funcție de abaterea ε, se obține curba din figura 6.16. Din această figură rezultă că la abateri relativ mici ($\varepsilon < \varepsilon_1$) regulatorul asigură o relație de proporționalitate între viteza de variație a mărimii de comandă și abatere. Pentru abateri pozitive ($\varepsilon > 0$) viteza de variație a mărimii de comandă este negativă $\left(\frac{dx_c(t)}{dt} < 0\right)$, deci mărimea de comandă x_c se micșorează, iar pentru $\varepsilon < 0$, $\frac{dx_c(t)}{dt} > 0$ și mărimea de comandă crește. Mărimea de execuție, respectiv viteza de deplasare a pistonului *12*, variază în funcție de ε după o curbă asemănătoare cu cea din figura 6.16.

E. ALEGEREA ȘI ACORDAREA REGULATOARELOR

1. Parametrii care intervin la alegerea și acordarea regulatorului

Se consideră că într-o instalație tehnologică se desfășoară un anumit proces care trebuie automatizat și urmează să fie ales regulatorul.

● Pentru **alegerea regulatorului** se procedează astfel:

— *se stabilește care tip dintre regulatoarele* (specializate sau unificate) *P, I, PI, PD, sau PID este mai inidcat* pentru instalația respectivă;

— *se determină parametrii regulatorului ales.*

Deoarece parametrii regulatorului ales se pot afla în game mai largi de valori decît cele necesare la reglarea instalației date, este obligatorie operația de **acordare** a regulatorului în funcție de caracteristicile instalației tehnologice. Aceasta constă în ajustarea parametrilor

unui regulator (care, de obicei, este unul tipizat), astfel ca aceștia să corespundă cerințelor concrete ale instalației date. Dacă această ajustare are în vedere o comportare a procesului reglat care să fie optimă în funcție de un anumit criteriu (de exemplu, durata minimă a procesului tranzitoriu, abaterea minimă, influența minimă a perturbațiilor externe etc.), ea se numește *acordare optimă* a regulatorului.

La studierea diferitelor tipuri de regulatoare, a fost stabilit că în cazul unui regulator de tip P principalul parametru este factorul de amplificare K_R (sau banda de proporționalitate BP), la un regulator tip D, constanta de timp derivativă T_D, iar la un regulator de tip I, parametrul caracteristic este constanta de timp de integrare T_I. Pentru celelalte tipuri de regulatoare, interesează valorile acelorași parametri (de exemplu, la un regulator PI parametrii caracteristici sînt K_R și T_I, la un regulator PD — K_R și T_D, iar la un regulator PID — K_R, T_I și T_D).

2. Alegerea tipului de regulator

Pentru alegerea tipului de regulator, este necesar să se cunoască complet caracteristicile procesului tehnologic ce se desfășoară în instalația reglată. În practică, de cele mai multe ori aceste caracteristici se ridică experimental. În acest scop se aplică la intrarea instalației tehnologice o variație în treaptă și se măsoară continuu mărimea de ieșire x_e.

Funcția $x_e(t)$ ridicată experimental, denumită și **răspunsul real**, se folosește pentru alegerea tipului de regulator. Se presupune — pentru precizarea noțiunii — că această funcție are forma arătată în figura 6.17.

Se duce în punctul de inflexiune I tangenta și se notează punctele A și B. Din B se coboară o perpendiculară pe axa absciselor și se obține punctul C. Pe abscisă se formează astfel două segmente:

— segmentul OA — notat cu T_m — definește un *timp mort fictiv al instalației tehnologice* (în sensul întîrzierii răspunsului);

— segmentul AC, notat ca T — reprezintă *constanta de timp fictivă.*

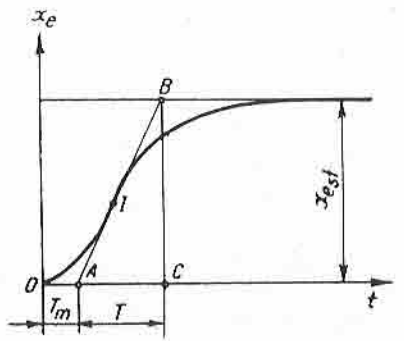


Fig. 6.17. Aproximarea răspunsului real cu un răspuns fictiv.

Caracteristica reală din figura 6.17 poate fi aproximată, prin liniarizare, cu o caracteristică fictivă ca cea reprezentată în figura 6.18.

În funcție de valoarea raportului $\frac{T_m}{T}$ se poate alege orientativ tipul de regulator, așa cum se arată în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3

Alegerea regulatorului în funcție de T_m/T

Raportul $\frac{T_m}{T}$	Tipul de regulator care se recomandă a fi utilizat
Pînă la 0,2	Regulator bipoziţional
Pînă la 1,0	Regulator avînd elemente P, I şi D
Peste 1,0	Regulatoare cu caracteristici speciale sau „sisteme de reglare complexă" cu regulatoare avînd elemente multiple P, I şi D.

○ **De reţinut.** Alegerea regulatorului se face, de cele mai multe ori, pe baza recomandărilor rezultate din *experienţa practică*. La determinarea cerinţelor privitoare la calitatea reglării şi la alegerea tipului de regulator (deci şi a celorlalte elemente de automatizare) trebuie să se ţină cont şi de eficacitatea economică a realizării şi instalării unui sistem complex de reglare automată.

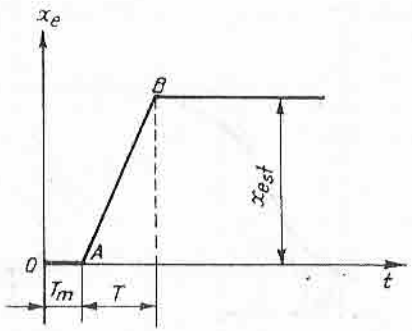


Fig. 6.18. Răspunsul fictiv al instalaţiei tehnologice reglate.

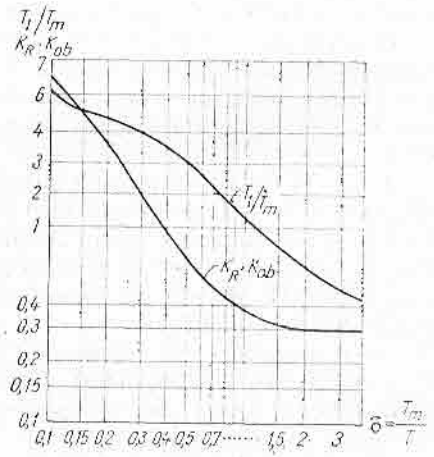


Fig. 6.19. Acordurile optime ale regulatorului PI (proces aperiodic).

3. Acordarea optimă a regulatoarelor

Acordarea optimă a unui regulator se face pe baza unui criteriu dinainte stabilit şi se realizează la regulatoarele tip P, DI, PD şi PID. În urma operaţiei de acordare, parametrii regulatorului (K_R, T_D, T_I) se ajustează la acele valori care conduc la performanţele dorite în regim staţionar şi dinamic de funcţionare.

Acordarea regulatoarelor se face *prin calcul* (cu ajutorul unor criterii şi relaţii matematice care vizează obţinerea unui proces tranzitoriu cît mai scurt şi mai bine amortizat) sau, pe *cale grafică* (cu ajutorul unor curbe experimentale). Astfel, valorile optime ale parametrilor regulatorului (K_R, T_I şi T_D) se pot determina după curbe predeterminate pe baza unor experienţe. În figura 6.19 se prezintă — spre exemplificare — graficul pentru acordările optimale ale unui regulator PI, în cazul unui proces aperiodic în funcţie de raportul $\tau = \frac{T_m}{T}$ luat în abscisă.

S-au notat în ordonată mărimile $\frac{T_I}{T_m}$ şi $K_R \cdot K_{ob}$ unde K_R este factorul de amplificare al regulatorului şi K_{ob} — factorul de amplificare al obiectului reglat (instalaţia tehnologică sau procesul reglat).

4. Etalonarea dispozitivelor de acord

În unele cazuri, fabricile constructoare livrează regulatoare ale căror dispozitive de acord fie că nu au scală, fie că au o scală gradată adimensional. În aceste cazuri, nu se pot fixa pe regulator valorile optime determinate pentru K_R, T_I sau T_D decît dacă se procedează, în prealabil, la o etalonare a dispozitivelor lui de acord.

Etalonarea se face prin determinarea mărimii la ieşirea regulatorului pentru diverse poziţii ale dispozitivelor de acord al regulatorului, în condiţii de laborator.

Pentru o poziţie stabilită, la intrarea regulatorului se aplică un semnal treaptă unitate, fie prin variaţia mărimii de ieşire, fie prin variaţia mărimii de consemn (în ambele cazuri variind valoarea abaterii mărimii de ieşire x_e faţă de valoarea precrisă x_{ep}). Se înregistrează, cu ajutorul unui aparat înregistrator, variaţia în timp a mărimii de comandă $x_c(t)$ aplicate elementului de execuţie (un semnal electric, presiunea aerului de comandă în cazul regulatoarelor pneumatice etc.). Prin prelucrarea funcţiei astfel obţinute, se calculează factorii de scală şi se etalonează dispozitivele de acord ale regulatorului.

● **Notă.** În unele cazuri, se poate efectua etalonarea direct la locul de montare a regulatorului, cu condiţia să se deconecteze în prealabil dispozitivul de acţionare de elementul de execuţie.

REZUMAT

1. *Regulatorul* este acel element de automatizare, la intrarea căruia se aplică eroarea (abaterea) ε și la a cărui ieșire rezultă mărimea de comandă x_c.

2. Regulatoarele *se clasifică:*

— în funcție de sursa de energie:

REGULATOARE — DIRECTE / — INDIRECTE

— în funcție de viteza de răspuns:

REGULATOARE PENTRU PROCESE — RAPIDE / — LENTE

— în funcție de particularitățile funcționale:

REGULATOARE CU ACȚIUNE — CONTINUĂ — LINIARE / — NELINIARE

— DISCONTINUĂ (DISCRETĂ)

— în funcție de caracteristicile constructive:

REGULATOARE — UNIFICATE / — SPECIALIZATE

— în funcție de agentul purtător de semnal:

REGULATOARE — ELECTRONICE / — ELECTROMAGNETICE / — HIDRAULICE / — PNEUMATICE

3. *Acordarea* regulatoarelor reprezintă ajustarea parametrilor regulatorului la acele valori care conduc la performanțele dorite în regim staționar și dinamic. Pentru acordarea regulatoarelor se folosesc relații de calcul (criterii de acordare) sau grafice de acordare optimă.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce elemente intră în componența unui regulator:
   a) elementul de prescriere, elementul de execuție și traductorul de reacție?
   b) elementul de prescriere, comparatorul diferențial și ampificatorul?
   c) amplificatorul, elementul de reacție și elementul de comparare?
2. Ce sînt regulatoarele cu acțiune proporțională (P):
   a) regulatoarele la care mărimea de acționare de la ieșirea regulatorului (sau mărimea de comandă) $x_c(t)$ este proporțională cu mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$?
   b) regulatoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ este egală cu eroarea $\varepsilon(t)$?
   c) regulatoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ variază proporțional cu derivata mărimii de intrare $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$?

3. Urmăriți figura 6.4. Răspundeți: care este elementul de prescriere și cum se modifică valoarea de consemn a presiunii din conductă:
   a) clapeta *6*; prin deplasarea clapetei *6* în interiorul conductei 5?
   b) membrana elastică *1*; prin deplasarea tijei *ABC*?
   c) șurubul 3; prin intermediul șurubului *3* și al resortului *2* se deplasează punctul *A* al tijei *ABC*?
4. Ce reprezintă mărimea de intrare (sau prescrisă) pentru regulatoarele electronice de tipul ELC:
   a) semnal unificat de curent continuu 0 ... 50 mA?
   b) semnal unificat de curent continuu 2 ... 10 mA sau tensiune continuă 0,4 ... 2 V?
   c) presiunea de comandă a uleiului 0,2 ... 1,1 daN/cm²?
5. Care sînt principalii parametri care intervin la alegerea și acordarea regulatorului:
   a) consemnul, durata regimului tranzitoriu și banda de proporționalitate *BP*?
   b) factorul de amplificare K_R (sau banda de proporționalitate *BP*) și constantele de timp (de derivare T_D și de integrare T_I)?
   c) inerția regulatorului, consumul de putere și costul?
6. La o instalație industrială în care urmează a se introduce un regulator de proces s-a determinat experimental răspunsul fictiv și s-a găsit raportul $\tau = \frac{Tm}{T} = 0,182$.

   Ce tip de regulator se recomandă a fi utilizat:
   a) un regulator unificat PID?
   b) un regulator bipozițional?
   c) un regulator tripozițional?

Partea a doua

SISTEME DE AUTOMATIZARE

Capitolul 7

SISTEME DE MĂSURARE ŞI CONTROL AUTOMAT

A. NOŢIUNI GENERALE

După cum s-a arătat în capitolul 1, un sistem de măsurare automată permite informarea cu caracter cantitativ asupra unei mărimi din procesul tehnologic, în timp ce un sistem de control automat reprezintă un sistem de măsurare automată completat cu un dispozitiv care, sesizînd că parametrul măsurat a atins o anumită valoare, acţionează printr-o semnalizare sau o comandă.

Sistemele de măsurare automată sînt foarte variate, complexitatea lor fiind în funcţie de mărimea de măsurare, de precizia măsurării etc.; pot fi totuşi împărţite în două grupe mari, şi anume:

— *sisteme de măsurare automată neechilibrate (necompensate)*;

— *sisteme de măsurare automată echilibrate (compensate)*.

● **Sistemele neechilibrate** corespund unor sisteme cu circuit deschis (fig. 7.1, *a*): mărimea de măsurat M este preluată de traductorul T, amplificată (eventual) de amplificatorul A şi aplicată elementului de „prezentare" (reproducere) R a mărimii respective. În această categorie intră toate sistemele de măsurare care au rezultat principial din cadrul cap. 2 (Traductoare).

Sistemele neechilibrate pot fi:

— *în lanţ;*

— *în punte dezechilibrată* (v. fig. 2.16).

Aceste sisteme sînt cele mai răspîndite, avînd o construcţie simplă; ele prezintă însă dezavantajul unor erori de măsurare, datorită:

— perturbaţiilor exterioare sistemului (variaţia tensiunii de alimentare, a temperaturii mediului ambiant etc.);

— perturbaţiilor interioare sistemului (variaţia parametrilor elementelor constructive).

● **Sistemele echilibrate** sînt analoage sistemelor de reglare automată avînd un circuit închis (fig. 7.1, *b*). Traductorul T aplică mărimea de măsurat M unui element de comparaţie D care sesizează diferenţa dintre valoarea reală a mărimii măsurate X_M şi o valoare X_E produsă de un „element de echilibrare" E pe baza diferenţei (erorii) ΔX primite de la amplificatorul A. Elementul de reproducere R se află în stare de repaus şi „prezintă" o valoare măsurată, numai cînd $\Delta X = 0$ (echilibrul $X_M = X_E$).

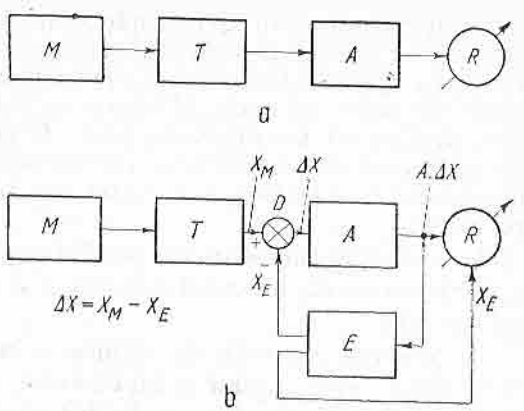


Fig. 7.1. Schema — bloc a sistemelor de măsurare automată:
a — sisteme neechilibrate; *b* — sisteme echilibrate.

După felul mărimii echilibrate, sistemele de măsurare respective se împart în:

— *compensatoare automate*, la care se echilibrează tensiunea de ieşire a traductorului (implică traductoare generatoare), cu o tensiune dată de un potenţiometru avînd cursorul comandat. Uneori se pot echilibra şi alte mărimi ca, de exemplu: cupluri mecanice, fluxuri luminoase sau magnetice etc.;

— *punţi automate*, la care se echilibrează rezistenţa sau reactanţa de ieşire a traductorului (implică traductoare parametrice) prin echilibrarea automată a braţelor unei punţi Wheatstone.

Compensatoarele şi punţile automate sînt denumite în general *potenţiometre automate*.

B. PREZENTAREA VALORII MĂRIMILOR MĂSURATE

● **Prezentarea rezultatului măsurării în sistemele de măsurare automată.** Spre deosebire de măsurarea manuală, prin care omul aplică mărimea de măsurat direct unui aparat (de exemplu, măsoară temperatura unui cuptor cu ajutorul unui termometru etc.), măsurarea automată necesită o serie de elemente de automatizare (de exemplu, un traductor

de temperatură — un termocuplu — un amplificator de tensiune, un stabilizator pentru menținerea constantă a tensiunii sursei de alimentare etc.), precum și o legare corespunzătoare a acestor elemente (circuite, punți de măsurare etc.). Mărimea de măsurat suferind astfel o serie de transformări intermediare, poate fi pusă în evidență (afișată) fie *cu un aparat electric indicator* (de exemplu, un miliampermetru cu ac indicator) fie *cu ajutorul unui aparat înregistrator* (care înscrie o diagramă pe hîrtie).

Uneori, mărimile măsurate pot fi înregistrate *pe benzi perforate* sau *pe benzi magnetice*, în scopul introducerii lor într-un calculator electronic (v. cap. 11).

Se observă că, față de măsurarea neautomată, care nu asigură decît citirea unei mărimi la fața locului, măsurarea automată permite transformarea și transmiterea la distanță a acestei mărimi, precum și folosirea ei în scopul conducerii unui proces tehnologic fără intervenția omului.

Elementul de bază într-un sistem de măsurare automată este *traductorul* (v. cap. 2).

● **Prezentarea rezultatului măsurării în sistemele de control automat.** După cum s-a mai arătat, controlul automat este o operație mai complexă, în care măsurarea diverșilor parametri ai unei instalații constituie doar mijlocul de informare în legătură cu funcționarea acesteia (normală sau nu).

Un asemenea proces (sau element), care nu are decît două stări posibile (0 sau 1), se numește *proces binar* (sau *bivalent*). Astfel, de exemplu, o lampă poate fi aprinsă (1) sau stinsă (0); un motor poate fi pornit (1) sau oprit (0); o piesă prelucrată poate fi bună (1) sau rebut (0) etc.

Uneori controlul se poate referi la o ieșire din anumite limite a unui parametru.

În final, controlul automat este concretizat fie printr-o *semnalizare* fie printr-o *comandă*.

Semnalizarea poate fi *optică* — de exemplu lampa verde aprinsă (starea 0) și lampa roșie aprinsă (starea 1) — sau *acustică*, cu ajutorul unei sonerii sau al unui claxon (hupă) care nu sună (starea 0) sau sună (starea 1).

Deoarece, așa cum s-a arătat, controlul automat are în vedere numai, una sau două valori ale unei mărimi date, *elementele cele mai des folosite* pentru măsurarea valorilor respective sînt *releele* (v. cap. 4).

1. Afișarea

Cel mai simplu mod de prezentare a datelor măsurate este afișarea (indicarea) acestora cu ajutorul unor aparate indicatoare. În figura 7.1, *a* receptorul *R* reprezintă aparatul indicator respectiv.

● **Afișarea continuă sau analogică** se realizează cu ajutorul aparatelor cu ac indicator, ca de exemplu microampermetre sau milivoltmetre, care — așa cum s-a arătat la capitolul 2 (Traductoare) — au scara gradată (etalonată) direct în unități ale mărimii măsurate*.

● **Afișarea discontinuă sau numerică** se face în prezent în „cod numeric zecimal", adică în cifre de la 0 la 9.

Valoarea mărimii măsurate obținute de la traductor prin amplificator este transformată în „cod zecimal" cu ajutorul unui convertor analog-numeric. În aces caz, receptorul *R* din figura 7.1, *a* este un „codificator" care transformă mărimea continuă (analogică), într-un cod de impulsuri (mărime numerică). Impulsurile respective sînt aplicate unor aparate speciale de afișare numerică (de exemplu, indicatorul cu cifre al contoarelor pentru consumul de energie electrică).

● **Afișarea din elemente combinate** (fig. 7.2) folosește un număr de șapte segmente de dreaptă, luminoase, fiecare cifră rezultînd din combinarea unui număr adecvat de elemente (elementele înnegrite se consideră a fi aprinse). Dezavantajul procedeului constă în forma neplăcută a cifrelor (datorită folosirii unui număr mic de segmente), precum și în necesitatea folosirii unor codificatoare care să convertească fiecare cifră în combinația necesară de segmente.

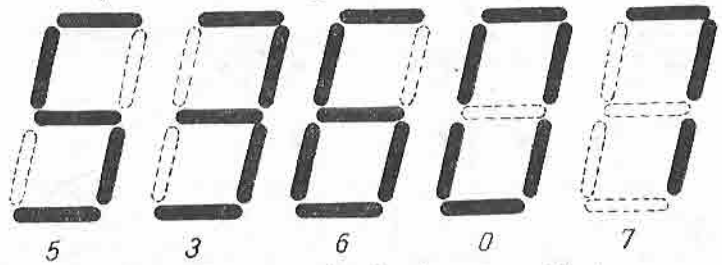


Fig. 7.2. Afișare numerică din elemente combinate.

Ca exemplu, în figura 7.3 se prezintă un asemenea codificator realizat dintr-o „matrice cu diode" similară unui distribuitor cu semiconductoare. Din figura 7.3 se observă modul de circulație a curenților care

* Tipurile de aparate indicatoare folosite în sistemele unificate vor fi prezentate în paragraful C.

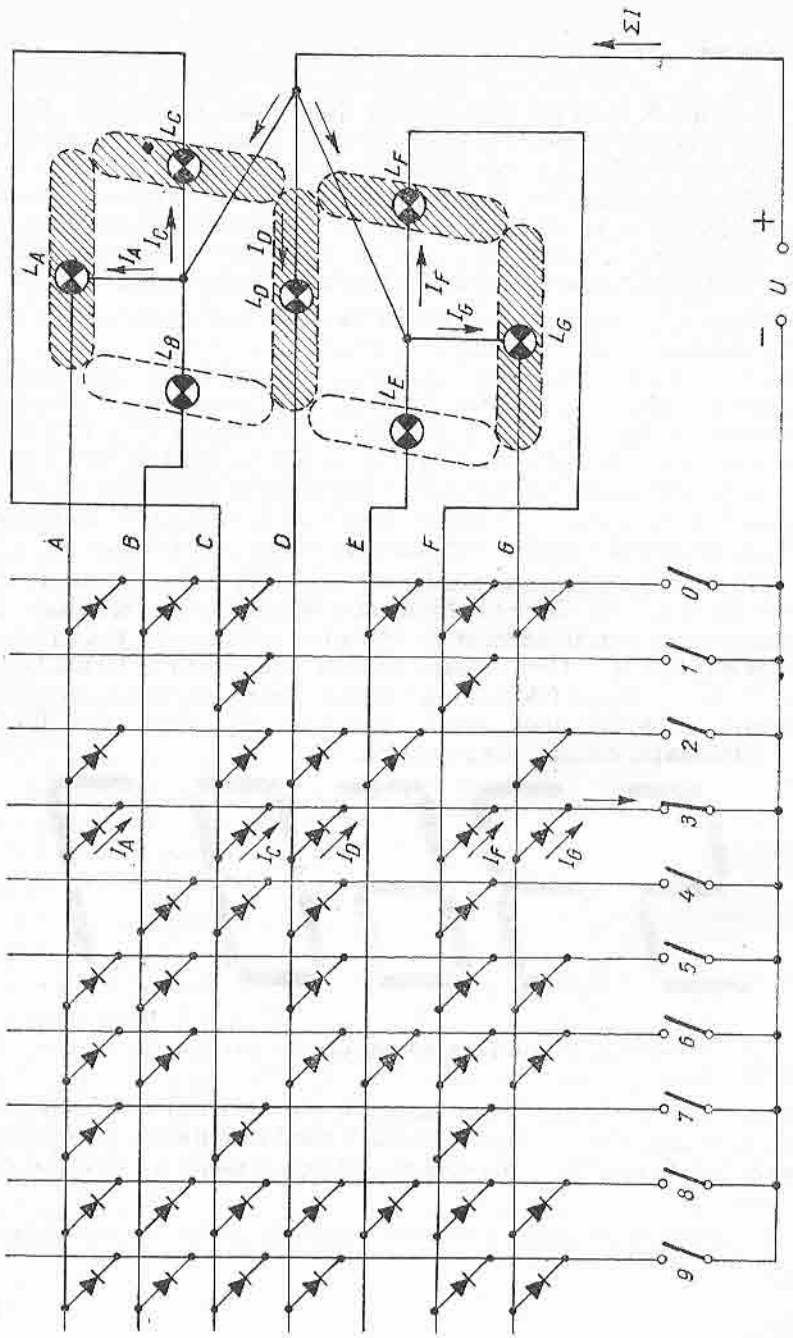


Fig. 7.3. Combinator matricial pentru afișarea numerică.

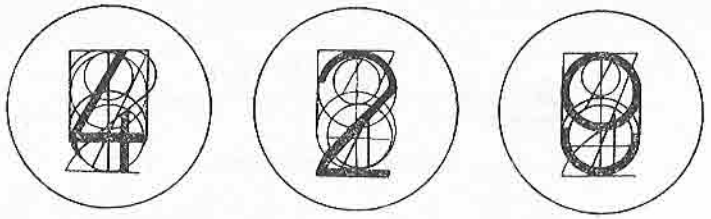


Fig. 7.4. Afișare suprapusă cu tuburi NIXIE.

asigură aprinderea numai a lămpilor aferente segmentelor pentru cifra 3 (lămpile L_A, L_C, L_D, L_F și L_G), atunci cînd se închide contactul 3.

● **Afișarea suprapusă** este o metodă modernă utilizată în măsurarea numerică. Cifrele sînt suprapuse, dar fiecare permite vizibilitatea cifrelor din spate.

În figura 7.4 este prezentată o variantă a acestui procedeu, realizată cu tuburi electronice cu neon avînd un anod și zece catozi. Catozii sînt realizați din sîrmă îndoită în formă de cifră și prin aplicarea tensiunii între anod și unul din catozi, sîrma (cifra) respectivă apare luminoasă. Aceste tipuri de tuburi electronice de afișare numerică sînt cunoscute și sub denumirea comercială de tuburi NIXIE (citește „nixi").

2. Înregistrarea

Datele măsurate pot fi prezentate prin înregistrarea lor pe benzi de hîrtie. În acest caz, receptorul R din figura 7.1 este un aparat înregistrator.

● **Înregistrarea continuă.** Aparatele cu înregistrare continuă sînt construite *cu diagramă rulantă* sau cu *diagramă circulară.*

Înregistratoarele cu diagramă rulantă funcționează pe principiul aparatelor electrice obișnuite (ampermetre, voltmetre etc.) sau, mai frecvent, pe principiul sistemelor de măsurare închise (compensatoare automate) — vezi paragraful *C* — avînd însă acul indicator prevăzut cu peniță. În fața peniței, perpendicular pe direcția de mișcare a acesteia, se deplasează cu viteză constantă o bandă (diagramă) de hîrtie pe care se înregistrează variația în timp a mărimii măsurate.

Ca exemplu, în figura 7.5 este prezentat un aparat înregistrator automat care permite înregistrarea a trei mărimi diferite: greutate (%), avansare (m) și putere (kW), din același proces tehnologic (de exemplu o instalație de forat).

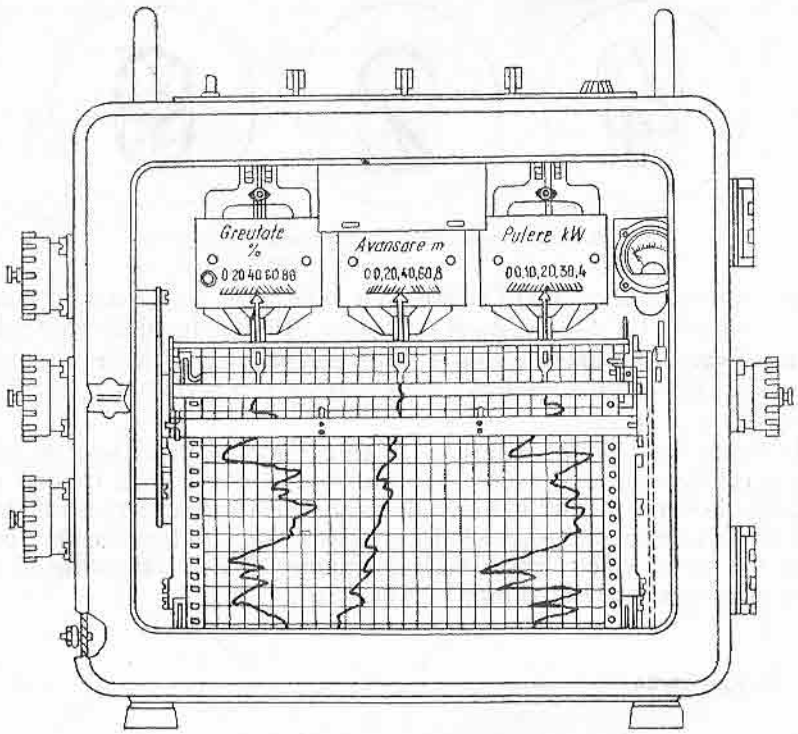


Fig. 7.5. Aparat înregistrator automat cu trei piste.

Banda de hîrtie se deplasează cu viteză constantă (de exemplu 20 mm/oră), antrenată de un mecanism de ceasornic , deci pe verticală este marcat timpul, iar deplasarea orizontală a peniței (care are în același timp și un ac indicator) marchează valorile mărimilor de măsurat.

Înregistratoarele cu diagramă rotativă (circulară) folosesc o hîrtie de formă circulară plasată pe un disc care se rotește, peniţa, cu acul indicator al aparatului de măsurat deplasîndu-se pe raze curbilinii de la centru spre periferie.

Diagrama circulară (fig. 7.6) se schimbă la o rotaţie completă, de obicei la fiecare 24 ore. Peniţa cu cerneală purtată de acul indicator al aparatului se deplasează de-a lungul razelor (de exemplu, de-a lungul indicaţiilor 10, 20 ... 100%), ceea ce la rotirea diagramei are ca efect obţinerea unei curbe continue, practic închisă.

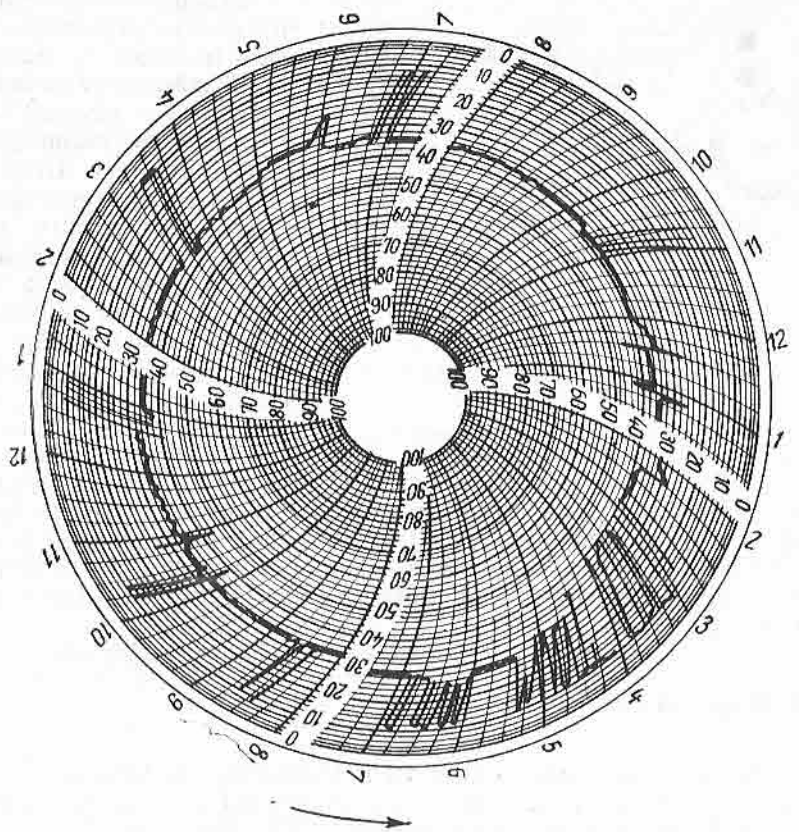


Fig. 7.6. Diagrama înregistratorului rotativ.

Diagramele obţinute sînt păstrate fie ca documente asupra valorilor mărimii respective în perioada dată, fie sînt folosite în anumite evidenţe ulterioare. De exemplu, dacă aparatul a înregistrat un debit de fluid (gaz metan, petrol etc.) printr-o conductă, prin calcularea suprafeţei închise de diagramă se poate determina cantitatea totală de fluid ce a trecut prin conducta respectivă în timpul rotirii.

Aparatele cu înregistrare continuă dau erori mari de măsurare datorită consumului mare de putere provocat de frecarea peniţei pe hîrtie.

● **Înregistrarea discontinuă** (prin puncte) se aplică la înregistrarea mărimilor din proces numite „lente" (de exemplu, variaţia temperaturii unui cuptor), la care nu există variaţii bruşte între două valori succesive înregistrate.

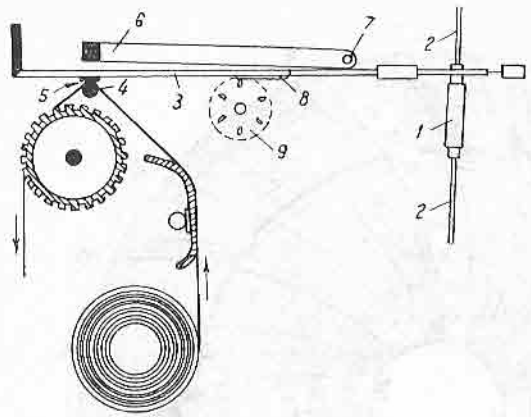


Fig. 7.7. Dispozitiv de înregistrare prin puncte.

Schema dispozitivului de înregistrare prin puncte este dată în figura 7.7. Elementul de măsurare *1* rotindu-se pe axul *2*, deplasează perpendicular pe planul figurii acul indicator *3*. Diagrama de hîrtie trece peste axul *4* situat sub ac. Între ac și hîrtie se află o bandă *5* îmbibată cu cerneală colorată. Discul *9*, rotindu-se cu viteza de 30 rotații pe oră, acționează prin cei șase dinți laterali resortul *8* și pîrghia 7. Cînd resortul *8* scapă de pe dinte, ghilotina *6* lovește brusc (percutează) acul indicator și acesta apăsînd banda colorată, imprimă un punct pe hîrtie. În acest mod se produce un punct la 20 s, adică trei puncte pe minut.

În figura 7.8 este prezentată ca exemplu o diagramă liniară de înregistrare a șase temperaturi (șase piste), fiecare temperatură fiind înregistrată cu altă culoare.

3. Integrarea

O formă de prezentare a unor mărimi măsurate este integrarea, adică însumarea pe un timp oarecare, de exemplu o oră a mărimii respective. De exemplu, dacă se integrează (însumează) în timp o putere electrică

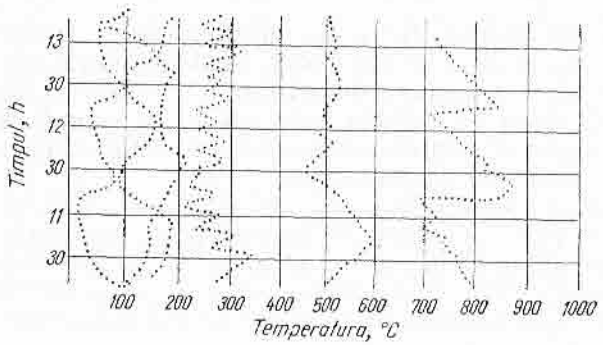


Fig. 7.8. Diagrama liniară de înregistrare prin puncte (6 piste).

(kW), se obține energia totală consumată în acel timp (kWh), sau dacă se integrează în timp debitul (m^3/s) de deplasare a unui lichid într-o conductă, se obține cantitatea totală scursă prin conductă în timpul considerat.

Sistemele de integrare sînt realizate de obicei cu circuite electrice „de integrare" a mărimilor măsurate, iar impulsurile obținute prin convertoarele analog-numerice sînt aplicate unor circuite de măsurare cu tranzistoare formate prin înserierea unui număr de triggere (v. fig. 4.4). Afișarea mărimilor obținute se face de obicei tot pe cale electronică (tuburi Nixie).

C. APARATE ELECTRONICE DE MĂSURARE ÎN SISTEMUL E (IEA)

În țara noastră se realizează o gamă variată de aparate indicatoare, înregistratoare și cu funcții multiple aparținînd sistemului E (neunificat sau unificat).

Toate aparatele indicatoare (analogice), precum și cele înregistratoare * (și indicatoare) din sistemul „E" IEA funcționează practic, pe baza aceluiași principiu, și anume al sistemelor de măsurare echilibrate, în speță compensatoarele automate.

○ **Observație.** Întrucît toate traductoarele, inclusiv cele parametrice, posedă adaptoare care asigură la ieșire un semnal (unificat) de curent (tensiune), sistemul „E" folosește în exclusivitate compensatoare automate.

1. Aparate înregistratoare tip E

a. *Funcționare*

Schema de principiu a înregistratoarelor (indicatoare) din sistemul E este prezentată în figura 7.9.

Mărimea de intrare — semnalul unificat de curent 2—10 mA — este aplicată pe rezistența R_0 ($R_0 = 200\ \Omega$), producînd un semnal unificat de tensiune U_i($2 \cdot 10^{-3} \times 200 \ldots 10 \cdot 10^{-3} \times 200 = 0{,}4 \ldots 2$ V). Pe de altă parte, potențiometrul R alimentat cu un curent constant ($i = 5$ mA) de la un stabilizator de curent (tip H 51) asigură o

* Toate aparatele înregistratoare sînt și indicatoare, avînd o scară gradată liniară, iar acul indicator fiind solidar cu cursorul potențiometrului de compensare.

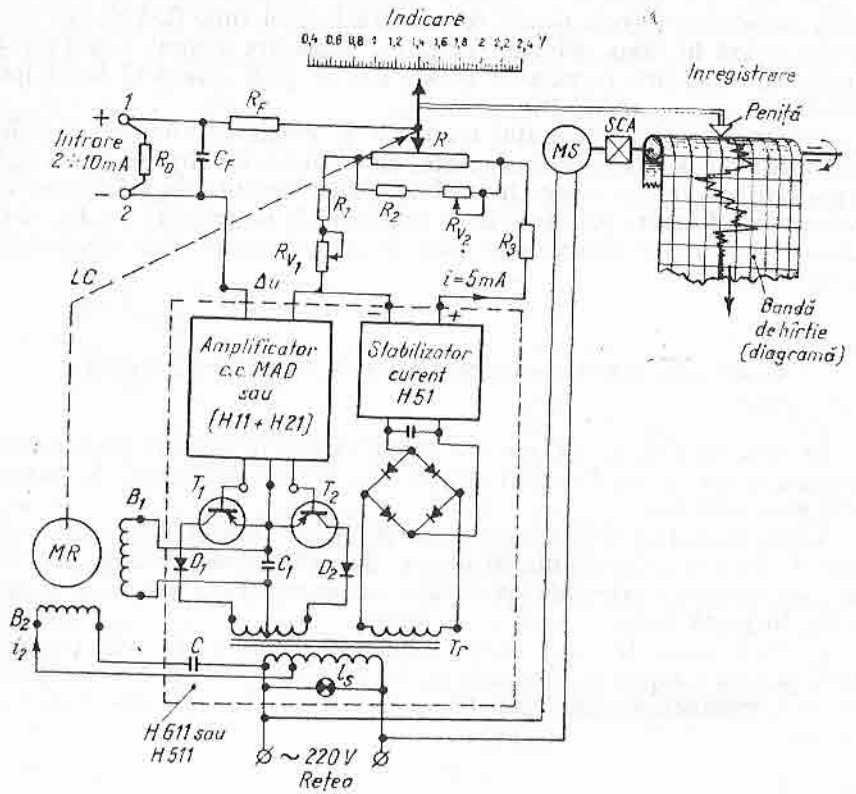


Fig. 7.9. Schema de principiu a înregistratoarelor (indicatoare) electronice din sistemul E (IEA).

tensiune de „compensare" U_R opusă tensiunii U_i, astfel că în funcționare va rezulta o tensiune de abatere (eroare) ΔU dată de diferența celor două tensiuni:

$$\Delta U = U_i - U_R. \tag{7.1}$$

În regim staționar, abaterea este nulă ($\Delta U = 0$), motorul MR stă pe loc și potențiometrul R se află într-o poziție care asigură compensarea:

$$U_i = U_R. \tag{7.2}$$

În același timp, acul indicator afișează pe o scară gradată (0,4—2,4 V) valoarea mărimii de intrare U_i și, bineînțeles, penița solidară cu cursorul și cu acul indicator rămîne pe loc, trasînd aceeași valoare.

Cînd mărimea de intrare variază într-un anumit sens (de exemplu crește), abaterea ΔU capătă o anumită polaritate (de exemplu, pozitivă). Amplificatorul de curent continuu cu modulare — amplificare — demodulare (MAD) prezentat în capitolul 3 — figura 3.5 va furniza la ieșire o mărime amplificată însă de aceeași polaritate. Se observă că pentru fiecare polaritate va conduce numai un tranzistor (de exemplu T_1) — cel cu joncțiunea emitor-bază polarizată direct — și va fi blocat celălalt (de exemplu T_2) — cu joncțiunea emitor-bază polarizată invers.

Ca urmare, în această situație va funcționa o singură diodă (de exemplu D_1), asigurînd pe bobina B_1 (de excitare a motorului MR) o tensiune (curent) pulsatorie formată numai din semialternanțele de o anumită polaritate (de exemplu, pulsurile pozitive), obținute de la rețea (~ 220 V) prin transformatorul de alimentare Tr.

Întrucît bobina de excitație B_2 primește permanent aceeași tensiune *, motorul bifazat MR se va roti într-un anumit sens (de exemplu pozitiv) antrenînd prin legătura cinematică LC cursorul potențiometrului R și acul indicator pînă la echilibrarea (compensarea) tensiunii de intrare ($\Delta U = 0$), situație în care motorul se oprește.

Cînd mărimea de intrare capătă o variație de sens contrar, semnalul de dezechilibru ΔU își va modifica polaritatea (de exemplu U_i scade $\Rightarrow \Delta U$, negativ $\Rightarrow$ blocat, T_1, conduce $T_2 \Rightarrow$ funcționează (redresează) $D_2 \Rightarrow$ bobina B_1 primește pulsuri negative).

Motorul MR se va roti deci în sens contrar față de situația precedentă, pînă ce $\Delta U = 0$ (echilibrare), indicînd pe scară o nouă valoare pentru U_i.

Ansamblul format din tranzistoarele T_1 și T_2, diodele D_1 și D_2, și transformatorul Tr constituie împreună cu amplificatorul de curent continuu MAD un „amplificator sensibil la fază", adică la polaritatea mărimii de la intrare.

Stabilizatorul de curent (tip H 51) este alimentat printr-o punte de diode (Graez) din același transformator Tr, furnizînd în permanență același curent constant ($i = 5$ mA). Rezistențele R_1 (fixă) și R_{V_1} (reglabilă) asigură împreună o valoare $R_1 + R_{V_1} = 80\ \Omega$, astfel că potențiometrul R în poziție minimă (cursorul pe poziția extremă din stînga) asigură tensiunea minimă de compensare:

$$(R_1 + R_{V_1}) \cdot i = 80 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0{,}4\ \text{V} = U_{i\,min} \tag{7.3}$$

Similar, rezistența potențiometrului R împreună cu R_2 și R_{V_2} asigură o rezistență echivalentă ** de 320 Ω, ceea ce face ca potențiometrul R

* Curentul i_2 este decalat cu 90° cu ajutorul capacității C, pentru ca motorul să poată căpăta un cîmp bifazat (învîrtitor).

** R în paralel cu $R_2 + R_{V_2}$.

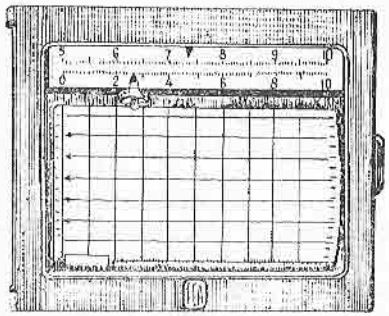


Fig. 7.10. Aparat electronic înregistrator format normal (IEA).

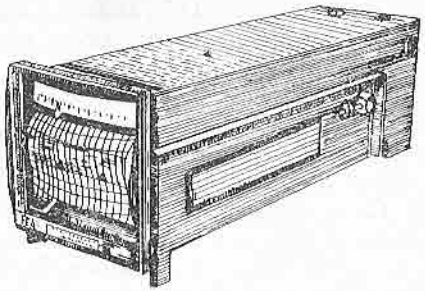


Fig. 7.11. Aparat electronic înregistrator format miniatură (IEA).

în poziție maximă (cursorul pe poziția extremă din dreapta) să asigure tensiunea maximă de compensare $[(80 + 320) \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 2\ V = U_{i\ max}]$.

Banda de hîrtie aferentă părții de înregistrare este antrenată cu o viteză de 20 mm/oră cu ajutorul unui motor sincron *MS* racordat la rețeaua de 220 V c.a. și prin intermediul unui sistem cinematic de antrenare *SCA*.

Amplificatorul de curent continuu folosit diferă de la un tip de aparat la altul, în funcție de semnalul de intrare folosit.

b. Construcție

Aparatele înregistratoare se realizează în următoarele variante:

— *normal* (fig. 7.10), cu lățimea scării și a diagramei de 250 mm și cu viteza de deplasare a diagramei reglabilă la 20, 60 sau 120 mm/h;

— *miniaturizat* (fig. 7.11), cu lățimea diagramei de 120 mm și cu viteza de deplasare a diagramei de 20 mm/h.

Se fabrică următoarele **tipuri de înregistratoare**:

— *pentru semnalele neunificate* (seria E):

— tip E 35 — înregistrator miniatură cu o peniță;

— tip E 36 — înregistrator normal cu o peniță;

— tip E 45 — înregistrator miniatură cu două penițe;

— tip E 46 — înregistrator normal cu două penițe;

— *pentru semnale unificate* (seria ELR): tipurile ELR 35, ELR 36, ELR 45 și ELR 46, care au aceleași caracteristici ca tipurile omoloage pentru semnale neunificate.

2. Aparate indicatoare tip E

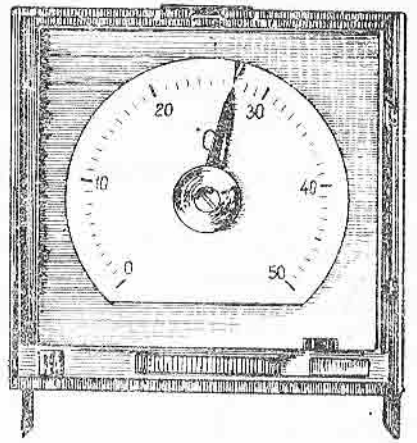


Fig. 7.12. Aparat electronic indicator (IEA).

După cum s-a arătat, aparatele indicatoare folosesc — ca și cele înregistratoare — aceleași tipuri de compensatoare automate, cu deosebirea că scara este circulară avînd un unghi de 270° (fig. 7.12).

La dimensiunile aparatului — gabarit frontal 150 × 158 mm — lungimea desfășurată a scării este de 235 mm.

Scările de măsurare sînt standardizate, fiind liniare: 0—50; 0—60; 0—100, sau pătratice: 0—20; 0—25; 0—150, pe scară avînd imprimat și un „factor de scară" (de exemplu $x10^n$; $x\ 2 \cdot 10^n$ sau $x\ 5 \cdot 10^n$) indicat de beneficiar.

Schema electrică de principiu a aparatelor indicatoare este practic aceeași din figura 7.9, cu observația că lipsește sistemul de înregistrare.

Toate aparatele de măsurat, inclusiv cele înregistratoare, au o sensibilitate * de 0,1% și o precizie (eroare maximă) de 0,5%.

3. Funcțiuni auxiliare ale aparatelor înregistratoare și indicatoare tip E

În afara funcțiunilor principale de înregistrare și (sau) indicare (afișare), aparatele IEA tip E pot îndeplini și unele din următoarele funcțiuni suplimentare: *funcțiunea M, funcțiunea K, funcțiunea B, funcțiunea S, funcțiunea C, funcțiunea T, funcțiunea TS.*

● **Funcțiunea M.** Aparatele concepute cu această funcțiune posedă contacte de comutare care își schimbă poziția numai la depășirea unei limite superioare (funcțiunea M_1 — fig. 7.13, *a*), numai la depășirea unei limite inferioare (funcțiunea M_2 — fig. 7.13, *b*) sau la depășirea ambelor limite (funcțiunea M_3 — fig. 7.13, *c*).

Poziția contactelor este reglabilă, putîndu-se fixa în orice poziție (de exemplu, $U_{i\ max} = 98\%$ și (sau) $U_{i\ min} = 25\%$), pozițiile respective

* Prin **sensibilitate** se înțelege *abaterea minimă* (exprimată în procente), *la care compensatorul reacționează*. De exemplu, pentru semnalul unificat 2 — 10 mA, 0,1% reprezintă $1^0/_{00}$, adică 10μA sau — deoarece $R_0 = 80\Omega$ — rezultă 800μV = 0,8 mV.

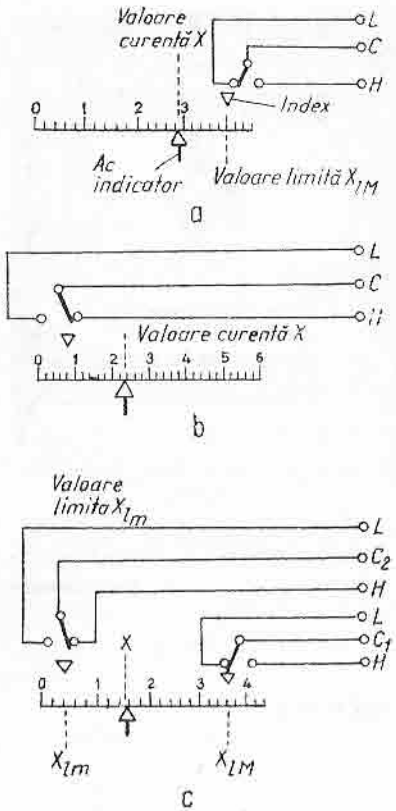


Fig. 7.13. Funcțiunea M a aparatelor înregistratoare tip E (IEA):
a — funcțiunea M_1 — (contacte de maximum);
b — funcțiunea M_2 — (contacte de minimum);
c — funcțiunea M_3 (contacte de maximum și de minimum).

fiind evidențiate printr-un „index" (reper) pe scară. Contactul este comutat cînd acul indicator trece prin dreptul indexului.

Contactele respective sînt folosite pentru a acționa lămpi de semnalizare, buzere (sonerii), relee etc., deci în scopul îndeplinirii funcției de control automat (v. cap. 1).

● **Funcțiunea** K (K_1, K_2 sau K_3) este practic identică cu funcțiunea M, cu diferența că pozițiile contactelor nu sînt evidențiate prin repere pe scară.

● **Funcțiunea** B variantele B_1 și B_2 similare funcțiunilor M_1 și M_2, cu observația că contactele sînt prin construcție fixate la limita superioară — 100% (B_1) — sau la limita inferioară — 0% (B_2). Aceste contacte servesc pentru semnalizarea întreruperii circuitului de intrare ($U_i = 0$) cînd compensatorul, nemaifiind echilibrat, motorul MR (fig. 7.9), comandă deplasarea cursorului potențiometrului R pînă la ieșirea din limite.

● **Funcțiunea** S, cu variantele S_1, S_2 și S_3 care sînt de asemenea similare funcțiilor M_1, M_2 și M_3, este proprie aparatelor cu imprimarea (înregistrarea) prin puncte.

● **Funcțiunea** C (fig. 7.14) asigură transmiterea la distanță a semnalului de abatere (eroare) a mărimii măsurate de la o valoare prescrisă („de consemn" sau „de referință") — v. cap. 6 și 9. În acest scop, solidar cu cursorul K_1 și cu indicatorul I_1 al potențiometrului R din aparatul înregistrator (compensator automat — v. fig. 7.9) se află și cursorul K_3, care se deplasează pe potențiometrul R_0 adăugat suplimentar.

Potențiometrul R_0, identic cu R, este străbătut la fel ca și R, de un curent stabilizat $i = 5$ mA, astfel că potențialele în rezistența R_0 au o repartiție identică ca și în R.

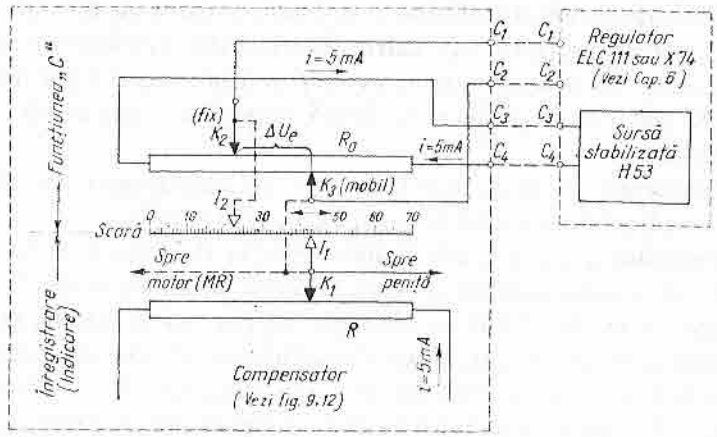


Fig. 7.14. Funcțiunea C a aparatelor înregistratoare tip E (IEA).

Potențiometrul R_0 mai posedă un al doilea cursor, K_2, solidar cu indicatorul I_2, care se poate fixa manual într-o anumită poziție și care indică valoarea prescrisă a mărimii de măsurat.

În acest caz, tensiunea ΔU_e obținută între cursorul mobil K_3 și cel fix K_2 reprezintă abaterea * mărimii măsurate față de valoarea prescrisă, și ea este transmisă unui regulator pentru mărimea respectivă (v. cap. 6 și 9).

○ **Observație.** Mărimea ΔU_e poate fi pozitivă sau negativă ($\pm \Delta U_e$), după cum cursorul mobil K_3 se află la stînga sau la dreapta cursorului fix K_2 și capătă valoarea zero ($\Delta U_e = 0$) cînd cursoarele K_3 și K_2 se află în același punct.

În această ultimă ipoteză, și indicatorul mobil I_1 se plasează pe scară în același punct cu I_2, situație în care ΔU_e fiind zero acțiunea regulatorului încetează.

● **Funcțiunea** T constă în formarea unui semnal (0,4—2 V) proporțional cu mărimea măsurată, care poate fi transmis la distanță (fig. 7.15). Cursorul K_2 al potențiometrului R_0 (valoarea $R_0 = 320\ \Omega$) se deplasează solidar cu cursorul K_1 (indicatorul I_1) și, deoarece potențiometrul R_0

---

* ○ **Observație.** După studierea cap. 6 și 9, se va constata că potențiometrul R_1 preia funcția organului numit „diferențial" din cadrul regulatorului.

este parcurs de curentul stabilizat $i = 5$ mA, rezultă că tensiunea ΔU_e obținută este proporțională cu mărimea măsurată. Tensiunea respectivă este aplicată, de obicei, unui convertor tensiune-curent (de exemplu tip ELX 120) care produce la ieșire semnalul unificat de curent 2—10 mA.

○ **Observație.** Această funcțiune are rațiune numai atunci cînd semnalul aplicat aparatului înregistrator este neunificat.

● **Funcțiunea** *TS* asigură transmiterea la distanță a unui semnal de referință pentru regulatorul care reglează mărimea respectivă.

În acest caz (fig. 7.16), se folosește un potențiometru R_0 la fel ca în cazurile precedente, străbătut, de asemenea, de curentul stabilizat $i = 5$ mA. Cursorul K_2 (inclusiv indicatorul I_2) este fix, indicînd mărimea de referință a regulatorului. Poziția cursorului K_2, deci valoarea mărimii de referință (ΔU_e = ct), poate fi modificată manual.

Mărimea de referință ΔU_e = ct (cuprinsă între valorile 0,4 — 2 V) este aplicată regulatorului (tip ELC 111 sau ELX 75 — v. cap. 6).

○ **Observația** 1. Funcțiunea *TS* cuprinde o parte din funcțiunea *C*, în sensul că din aceasta lipsește cursorul K_3, astfel că regulatorul primește numai mărimea de referință U_e față de situația de la funcțiunea *C*, cînd regulatorul primește mărimea de abatere (ΔU_e) a mărimii măsurate U_i față de mărimea de referință U_e($\Delta U_e = U_i - U_e$).

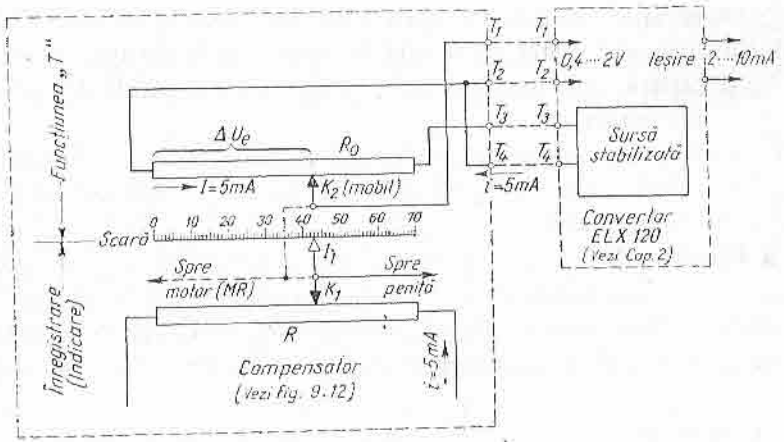


Fig. 7.15. Funcțiunea *T* a aparatelor înregistratoare tip E (IEA).

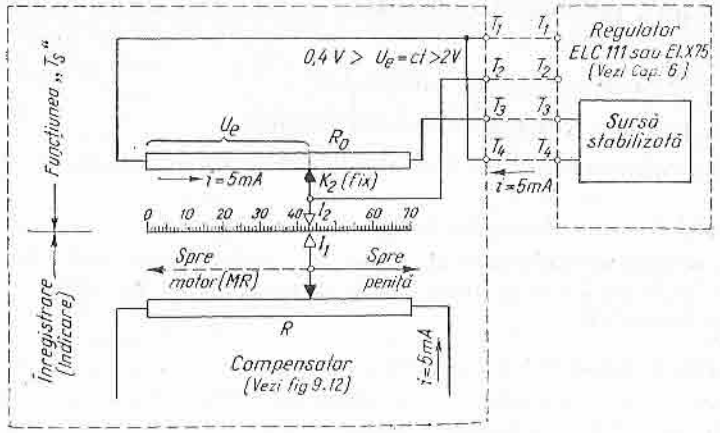


Fig. 7.16. Funcțiunea *TS* a aparatelor înregistratoare tip E (IEA).

○ **Observația** 2. Ca și la funcțiunea *C*, și în cazul funcțiunii *TS* acțiunea regulatorului este concretizată pe scara aparatului indicator prin oscilațiile indicatorului I_1 (regimul tranzitoriu al regulatorului — v. cap. 11) în raport cu indicatorul fix I_2.

În afara funcțiunilor descrise, aparatele înregistratoare (indicatoare) din sistemul E mai pot realiza și alte funcțiuni, cum sînt: funcțiunea *H*, funcțiunea *I*, funcțiunea *Q*, funcțiunea *R*.

● **Funcțiunea** *H* asigură transmiterea semnalului pentru comanda regulatorului bipozițional (X 74) în mai multe puncte.

● **Funcțiunea** *I* asigură transmiterea semnalului pentru comanda elementului totalizator (integrator) de debit.

● **Funcțiunea** *Q* asigură transmiterea semnalului pentru corecția debitului unui fluid în funcție de variațiile presiunii măsurate.

● **Funcțiunea** *R* asigură obținerea unei mărimi proporționale cu rădăcina pătrată a semnalului de intrare etc.

Codul folosit pentru a preciza tipul înregistratorului sau indicatorului mai trebuie completat cu un index înaintea celor două cifre, în funcție de traductorul sau elementul cu care este cuplat. Astfel:

0 — pentru termocupluri;

1 — pentru termorezistențe;

5 — pentru pirometrul de radiație și alte elemente cu semnalul în milivolți;

7 — pentru detectoare de umiditate;

LR — pentru elemente cu semnal unificat.

Funcțiunile auxiliare sînt indicate în continuare, prin litera respectivă.

Exemplul 1. Aparat IEA tip E 010 M_2 T:

— aparat cu semnal neunificat (E) pentru termocupluri (0), indicator (10), cu semnalizare la depășirea limitei inferioare (M_2) și cu transmiterea semnalului proporțional cu valoarea indicată (T).

Exemplul 2. Aparat IEA tip ELR 535 C:

— aparat cu semnal unificat (ELR), pentru pirometru (5) înregistrator miniatură cu o peniță (35), cu transmiterea semnalului de eroare (C).

4. Aparate integratoare tip E

Industria românească (IEA) realizează două tipuri de aparate (elemente) *integratoare pentru semnal de intrare unificat* (2—10 mA c.c.), folosind o serie de elemente electronice unificate (v. cap.12), precum și un *contor mecanic* avînd un număr maxim de 6 cifre (ranguri).

● **Integratorul liniar tip ELI** 112 folosește pentru integrare un circuit RC*, un generator autoblocat și circuite de comandă și stabilizare.

Aparatul afișează indicația 100 după o oră, dacă în acest timp semnalul de intrare este menținut la valoarea sa maximă (10 mA).

Precizia de măsurare este de 1%.

Tensiunea de alimentare este 220 V ± 10%, la 50 sau 60 Hz.

Puterea consumată este de circa 10 VA.

● **Integratorul extractor de radical tip ELI** 103 este destinat contorizării debitului total T, al unui fluid, prin măsurarea debitului parțial D folosind traductoare de presiune diferențială P*. Performanțele tehnice sînt aceleași ca și la tipul precedent.

* $D(m^3/h) = K\sqrt{\Delta P} \Rightarrow T\,(m^3) = K\int_0^t D\,dt = K\int_0^t \sqrt{\Delta P}\cdot dt.$

În capitolul 2 (Traductoare) au fost prezentate, principial, unele exemple simple de sisteme de măsurare automată în scopul înțelegerii modului de funcționare al traductoarelor. Toate exemplele date au constituit sisteme de măsurare neechilibrate în lanț. În cele ce urmează vor fi date cîteva exemple mai complexe de măsurare automată.

● În figura 7.17 se prezintă un **sistem de măsurare neechilibrat în punte, folosind un traductor rezistiv de nivel.**

Traductorul (reostatul) T are o formă circulară, cursorul său fiind solidar cu scripetele S. Plutitorul (flotorul) P plutește pe suprafața lichidului dintr-un rezervor sau dintr-un lac și este legat printr-o funie F ce trece peste scripetele S, de o contragreutate C. Cînd nivelul n al lichidului variază, plutitorul P se deplasează pe verticală rotind scripetele S. Acesta antrenează cursorul c producînd variația rezistenței R_x (cuprinsă între bornele a și c). Totodată se modifică, în sens invers, și rezistența $R_y (R_y = R - R_x)$, R fiind rezistența totală a traductorului. Rezistențele R_x și R_y constituie împreună două din brațele unei punți Wheatstone, celelalte două fiind rezistențele fixe R_1 și R_2. Într-una dintre diagonalele punții se aplică tensiunea continuă de valoare U_0, iar în cealaltă diagonală se montează un ampermetru A (galvanometru).

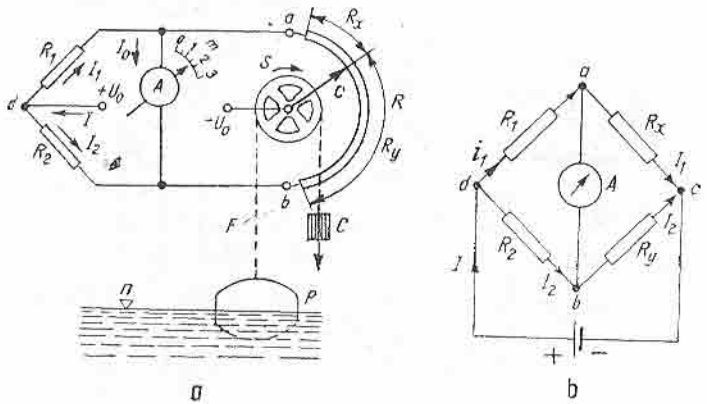


Fig. 7.17. Sistem de măsurare automată neechilibrat în punte (măsurarea nivelului).

Curentul I_0 de dezechilibru al punții, ce străbate ampermetrul A, depinde de valorile rezistențelor R_x și R_y după o relație de forma:

$$I_0 = \frac{(R_1R_y - R_2R_x)\,U_0}{RR_A(R_1 + R_2) + R_1R_2R + R_xR_y(R_1 + R_2)}, \tag{7.4}$$

în care R_A este rezistența internă a ampermetrului;

$$R = R_x + R_y. \tag{7.5}$$

Rezultă că indicația ampermetrului va depinde de poziția scripetelui S, deci de nivelul lichidului; ampermetrul este etalonat direct în metri.

Se constată în acest exemplu că mărimea de măsurat (nivelul n) modifică în același timp două din rezistențele punții (de exemplu R_y crește și R_x scade), ceea ce face ca variația curentului I_0 să fie mai mare (relația 7.4) decît în cazul cînd ar fi modificat o singură rezistență. O asemenea *punte de măsurare*, numită *„cu două brațe active"*, are deci o sensibilitate mai bună. Ne putem imagina ușor o punte cu toate „patru brațe active", dacă în locul rezistențelor fixe R_1 și R_2 s-ar fi introdus un reostat circular identic, al cărui cursor să fie deplasat de același scripete S. În această situație, avînd în permanență $R_1 = R_y$ și $R_2 = R_x$, sensibilitatea traductorului — deci a sistemului de măsurare — ar fi fost și mai mare.

● În figura 7.18 este prezentat un **sistem de măsurare a umidității gazelor.** Acesta constituie un exemplu de sistem echilibrat folosind o punte automată. Măsurarea umidității unui gaz cu ajutorul psihrometrului se reduce de fapt la determinarea diferenței de temperatură dintre două termometre cu termorezistență: un termometru măsurînd temperatura gazului uscat, iar al doilea — pe cea a gazului umed.

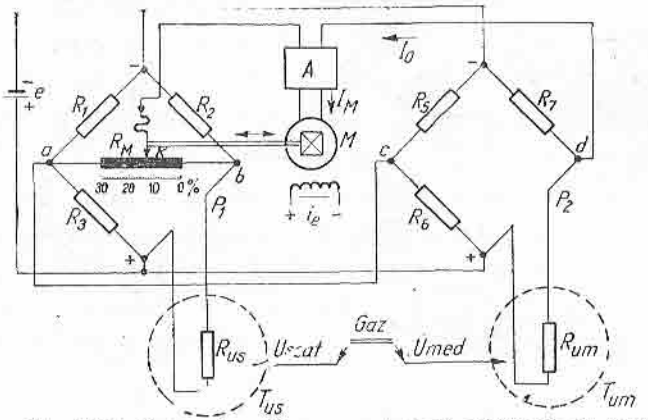


Fig. 7.18. Sistem de măsurare automată echilibrat în punte (măsurarea umidității).

Umiditatea relativă u a unui gaz depinde de diferența psihrometrică $(t_{us} - t_{um})$ după relația:

$$u = \frac{P_{um} - K(t_{us} - t_{um})}{P_{us}} \cdot \frac{P}{760}, \tag{7.6}$$

în care:

P_{um} este presiunea vaporilor saturați din mediul de încercat, la temperatura t_{um} a termometrului umed;
P_{us} — presiunea vaporilor saturați din mediul de încercat, la temperatura t_{us} a termometrului uscat;
P — presiunea barometrică (exterioară);
K — constanta psihrometrică.

Traductorul psihrometric cuprinde două termorezistențe T_{us} și T_{um} (avînd rezistențele R_{us} și, respectiv, R_{um}) și constituie împreună cu rezistențele R_1, R_2, R_3, respectiv R_5, R_6, R_7, brațele a două punți de măsurare P_1 și P_2. Ambele punți sînt alimentate de la aceeași sursă de tensiune continuă E. Rezistența R_M din diagonala punții P_1 reprezintă reostatul unui potențiometru automat care acționează pe baza curentului I_0 aplicat amplificatorului A. Astfel, motorul M de curent continuu cu excitație separată alimentat prin amplificatorul A deplasează cursorul K al reostatului R_M și nu se oprește decît atunci cînd I_0 se anulează (v. fig. 7.9).

Tensiunea U_{ab} din diagonala punții P_1 depinde de valoarea R_{us}* a termorezistenței T_{us}, care este la rîndul său o funcție de temperatura t_{us}, conform caracteristicii statice a traductorului $R_{us} = \mathrm{f}\,(t_{us})$; similar, tensiunea U_{cd} este o funcție de t_{um}. Se observă că ambele punți funcționează în regim dezechilibrat. Valoarea curentului de dezechilibru I_0 ce alimentează amplificatorul A (deci motorul) reflectă diferența de dezechilibrare a celor două punți:

$$I_0 = \frac{U_{ak} - U_{cd}}{R_A}, \tag{7.7}$$

în care:

R_A este rezistența de intrare a amplificatorului A;
U_{ak} — reprezintă un procent din tensiunea U_{ab}, dat de raportul rezistențelor determinate de cursorul K.

$$\frac{U_{ak}}{U_{ab}} = \frac{R_{ak}}{R_{ab}}$$ (R_{ak} este rezistența între bornele a și k; $R_{ab} = R_M$).

---

* Relația de dependență este:

$$U_{ab} = \frac{R_1R_{us} - R_2R_3}{(R_1 + R_2)(R_2 - R_{us})} \cdot E.$$

Ca urmare, *cînd umiditatea este zero* (gazul este uscat) rezultă $R_{um} = R_{us}$, deci $U_{cd} = U_{ab}$ și pentru ca să avem $I_0 = 0$ (relația 7.7) este necesar ca $U_{ak} = U_{ab}$, adică cursorul K este deplasat de motorul M la capătul b, indicînd pe scara gradată S valoarea $u\% = 0$, caz în care și motorul se oprește. *Pentru altă valoare a umidității*, R_{um} se modifică modificînd și curentul de diferență I_0, iar motorul acționează cursorul K pînă ce sistemul se echilibrează ($I_0 = 0$), indicînd valoarea respectivă a umidității.

● **Sistem de control automat al grosimii unei benzi laminate.** În figura 7.19 este prezentat un sistem de control automat folosind un traductor inductiv diferențial. Cele două bobine B_1 și B_2 ale traductorului avînd inductanțele L_1 și respectiv L_2, constituie două brațe „active" ale unei punți de măsurare; celelalte două brațe sînt constituite de bobinele B_3 și B_4 cu inductanțele egale și valoarea constantă. Puntea este alimentată în diagonală cu tensiunea alternativă U_a, aplicată prin stabilizatorul S. Dioda D_1 produce pe rezistența de valoare R_0 curentul continuu (redresat) I_s și, asemănător, D_2 produce pe o rezistență identică R_0, curentul continuu I_R. Schema mai cuprinde și releul polarizat P care, atunci cînd este străbătut de curentul unui circuit I_p în sensul „+", închide contactul C_1 aprinzînd lampa roșie L_R, iar cînd I_p are sensul „ − ", închide contactul C_2 aprinzînd lampa verde L_V.

Funcționarea are loc în felul următor:

Cînd banda prelucrată care se deplasează cu viteza v printre rolele R_1 și R_2 *are grosimea d egală cu o valoare impusă* d_0 ($d = d_0$), tija T menține miezul magnetic mobil M într-o poziție mediană față de miezurile magnetice fixe F_1 și F_2. În această poziție, întrefierurile sînt egale ($\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$) și deci inductanțele L_1 și L_2 ale bobinelor B_1 și B_2 sînt egale între ele, avînd aceeași valoare L_1 ca și a bobinelor B_3 și B_4 ($L_1 = L_2 = L_0$).

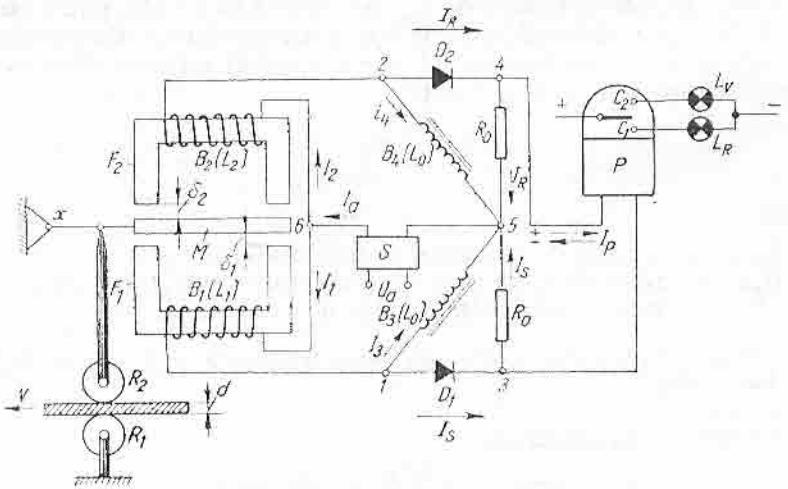


Fig. 7.19. Sistem de control automat (controlul grosimii unei benzi).

Se observă că puntea formată de cele patru inductanțe este perfect simetrică și deci echilibrată. Ca urmare, toți curenții omologi sînt egali între ei: $I_1 = I_2$; $I_3 = I_4$ și $I_R = I_S$. În consecință, punctele *4* și *3* avînd același potențial ($R_0 \cdot I_R = R_0 \cdot I_s$), curentul prin releul polarizat este nul ($I_p = 0$) și nu se aprinde nici o lampă.

Cînd grosimea d a benzii se abate de la valoarea prescrisă, de exemplu crește, sistemul de control funcționează astfel:

Față de starea anterioară, rola R_2 și tija T se deplasează în sus și miezul magnetic M articulat în punctul fix x se apropie de miezul F_2 și se îndepărtează de miezul F_1, adică $\delta_2 < \delta_0$ și $\delta_1 > \delta_0$.

Inductanțele celor două bobine se modifică și ele, și anume $L_2 > L_0$ și $L_1 < L_0$, ceea ce are ca efect dezechilibrarea punții. Ca urmare, față de starea anterioară curenții din partea de jos a punții (I_1, I_3 și I_S) vor crește, deoarece inductanța L_1 a scăzut, iar cei din partea de sus (I_2, I_4 și I_R) vor scădea deoarece L_2 a crescut. Acest lucru este concretizat prin inegalitățile: $I_1 > I_2$, $I_3 > I_4$ și, ceea ce interesează în mod deosebit, $I_s > I_R$.

În consecință, punctul (borna) *3* capătă un potențial mai mare decît punctul *4*, deoarece $R_0 I_s > R_0 I_R$.

În circuitul releului polarizat apare curentul I_p, circulînd dinspre borna *3* spre borna *4*, adică în sensul, „ − ", ceea ce are ca efect închiderea contactului C_2 și aprinderea lămpii L_V (atenție! $d > d_0$).

Cînd grosimea d scade ($d < d_0$), procesul are loc exact invers, adică: rola R_2 și tija T se deplasează în jos, $\delta_1 < \delta_0$ și $\delta_2 > \delta_0$, adică $L_1 > L_0$ și $L_2 < L_0$; puntea se dezechilibrează invers, respectiv: $I_2 > I_1$; $I_4 > I_3$ și $I_R > I_s$. Ca urmare, curentul I_p circulă dinspre borna *4* spre borna *3*, adică are sensul „+" și releul polarizat își închide contactul C_1, aprinzînd lampa L_R (atenție! $d < d_0$).

În urma acestei semnalizări optice, personalul de exploatare ia măsuri pentru *remedierea deficienței semnalate*. Remedierea constă, de exemplu, în strîngerea (comprimarea) resoartelor cilindrilor de laminare a benzii dacă grosimea d a crescut sau, invers, în slăbirea acestor resoarte, dacă grosimea d a scăzut.

Operația de remediere poate fi realizată și automat; astfel, ne putem imagina, de exemplu că contactele C_1 și C_2 în loc să aprindă lămpile L_R și, respectiv, L_V, trimit impulsurile de comandă pentru slăbirea, respectiv strîngerea resoartelor de la cilindrii de laminare a benzii. Un asemenea sistem constituie, în ansamblu, un sistem de reglare automată (v. cap. 9).

REZUMAT

1. *Sistemele de măsurare automată* asigură informarea cantitativă asupra mărimilor — parametrii — dintr-un proces tehnologic.

2. *Sistemele de control automat* constituie un caz particular al celor de măsurare automată, în care interesează nu valoarea absolută a unei mărimi, ci numai dacă mărimea controlată este mai mare (sau mai mică) decît o valoare prescrisă.

3. *Prezentarea valorii mărimilor măsurate* se poate face prin:
— afişare (indicare);
— înregistrare;
— integrare.

4. *Afişarea* poate fi:
— continuă sau analogică (folosind aparate cu ac indicator);
— discontinuă sau numerică (folosind aparate cu cifre).

5. *Înregistrarea* poate fi realizată pe:
— diagrame de hîrtie (rulantă sau circulară);
— benzi (cartele) perforate, benzi sau tamburi magnetici, memorii cu ferite sau tranzistoare etc.

6. *În sistemul electronic tip E (IEA)* se produc: aparate, indicatoare şi înregistratoare realizate pe baza sistemelor de măsurare cu circuit închis (compensatoare automate), precum şi alte tipuri de aparate cum sînt: cele de calcul, integratoare etc.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Sistemele de măsurare automată folosesc pentru:
   a) informarea calitativă asupra parametrilor din proces?
   b) informarea cantitativă asupra parametrilor din proces?
   c) semnalizarea funcţionării instalaţiilor tehnologice?

2. Un sistem de control automat poate fi realizat cu ajutorul unui:
   a) ampermetru?
   b) manometru?
   c) releu?

3. Aparatele electronice înregistratoare tip E funcţionează pe baza sistemelor automate:
   c) cu circuit închis?
   b) cu surse stabilizate?
   c) cu circuit deschis?

4. Înregistratoarele tip E au în cadrul sistemelor de măsurare:
   a) funcţia de indicare şi înregistrare?
   b) funcţia de înregistrare şi calcul?
   c) funcţia de înregistrare şi integrare?

5. Printre funcţiunile auxiliare ale aparatelor înregistratoare există şi aceea de:
   a) trasare a mărimilor măsurate pe o bandă de hîrtie?
   b) calculare a sumei, diferenţei sau raportului unor mărimi?
   c) semnalizare a ieşirii din limite a mărimilor măsurate?

Capitolul 8

SISTEME DE COMANDĂ-SEMNALIZARE AUTOMATĂ

A. NOŢIUNI GENERALE

1. Comanda

După cum s-a arătat în cap. 1, comanda reprezintă o acţiune cu caracter cantitativ sau calitativ asupra unor elemente sau parametri dintr-un proces.

Din punctul de vedere al schemei structurale a sistemului automat, **comanda** poate fi: *cu circuit deschis* sau *cu circuit închis*.

După cum s-a mai arătat funcţia de comandă (continuă sau discontinuă) se întîlneşte ca parte componentă a sistemelor automate de: reglare (v. cap. 9) de protecţie, de sortare etc. În cadrul prezentului capitol se va trata comanda ca o funcţie independentă.

● **Comanda cu circuit deschis** este aproape întotdeauna discontinuă, avînd în special o formă bivalentă corespunzătoare celor două stări posibile ale unor elemente: starea 0 (motor oprit, vană închisă, întreruptor deconectat etc.) sau starea 1 (motor pornit, vană deschisă etc.).

De exemplu, pe baza unui domeniu de variaţie bine definit al presiunii, nivelului temperaturii etc., se realizează comanda automată de pornire sau oprire a unei pompe sau a unui ventilator, de deschidere sau închidere a unei vane sau a unui întreruptor etc.

După cum se va vedea din exemplul următor (fig. 8.1), desfăşurarea procesului de comandă are caracterul unei succesiuni (secvenţe) de operaţii pe baza unui program simplu bine definit (de exemplu: se închide un contact, după trei secunde se închide un întreruptor ...), Din acest motiv, sistemul mai poartă şi numele de *comandă secvenţială*.

● **Comanda cu circuit închis** lucrează cu mărimi analogice sau numerice şi se desfăşoară după un anumit „program" de lucru, motiv pentru care se mai numeşte şi *comandă după program* sau, pe scurt, *comandă-program*. Ea şi-a găsit un larg cîmp de aplicaţii în domeniul prelucrării pieselor metalice pe maşini-unelte (strung, freză, raboteză, morteză, maşină de găurit etc.), făcînd să se dezvolte un domeniu vast al automatizărilor şi anume: comanda-program a maşinilor-unelte.

Programul de lucru poate fi materializat sub două forme:

— *model fizic analog* (şablon) *al piesei de prelucrat*, caz în care avem de-a face cu *maşini automate de copiat*;

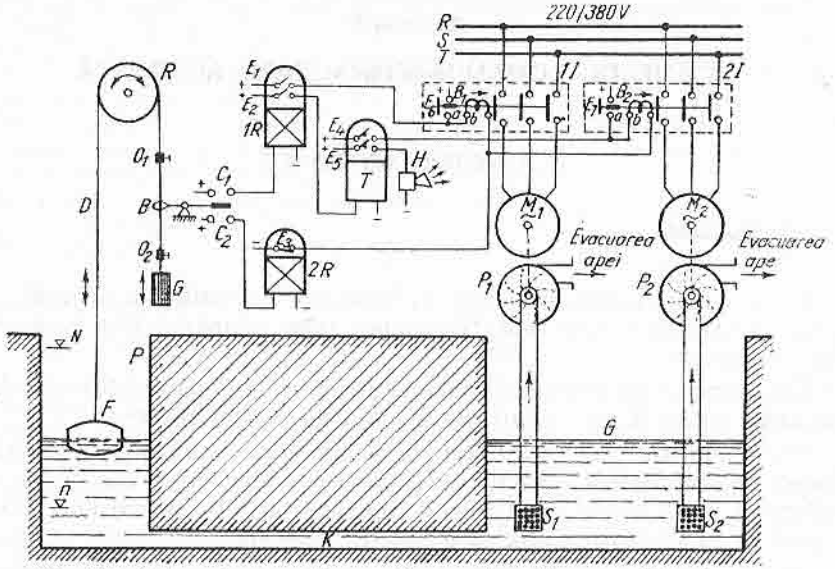


Fig. 8.1. Sistem de comandă-semnalizare automată secvențială (pompe de epuisment)

— *model matematic al piesei* (operațiilor) *de prelucrat*, concretizat sub forma unui program numeric imprimat ca și la calculatoare (v. cap. 11) pe cartele, benzi magnetice sau de hîrtie. În acest caz avem de-a face cu *comanda numerică a mașinilor-unelte*.

2. Semnalizarea

În general, operația de comandă este însoțită și de semnalizare, care permite o informare bivalentă asupra poziției sau stării agregatelor, asupra mărimilor din proces etc. **Semnalizarea** poate fi: *de poziție*, *de prevenire* și *de avarie*.

● **Semnalizarea de poziție** *reproduce în punctul central de supraveghere* (camera de comandă) *poziția unor agregate care sînt comandate manual sau automat*, adică reprezintă „răspunsul informațional" produs de comanda discontinuă.

Cea mai simplă semnalizare a poziței se realizează *cu lămpi*. Astfel, de exemplu, aprinderea unei lămpi de culoare verde înseamnă starea 0 (motor oprit, vană închisă, cazan oprit etc.), iar aprinderea unei lămpi de culoare roșie, înseamnă starea 1 (motor pornit, vană deschisă, cazan în funcțiune etc.).

● **Semnalizarea de prevenire** are rolul de a *atrage atenția că un anumit proces nu se desfășoară normal și că trebuie luate măsuri urgente „de prevenire" a unei defecțiuni tehnice* (avarii). De exemplu, se semnalizează că temperatura la un cazan de abur este în scădere și că deci trebuie luate măsuri de activare a arderii (de exemplu, să se comande pornirea unor turbosuflante, deschiderea a încă unei vane cu combustibil sau închiderea unor robinete de abur etc.). Semnalizarea de prevenire se realizează *optic* prin aprinderea unei lămpi și *acustic* printr-o sonerie.

Semnalizarea de prevenire face parte integrantă din sistemul de control automat al parametrilor.

● **Semnalizarea de avarie** *informează asupra producerii unor defecțiuni în instalația tehnologică care au contribuit la oprirea parțială sau totală a procesului tehnologic de producție*. În general, semnalizarea de avarie se realizează printr-una sau mai multe *lămpi care pîlpîie* (ard intermitent) și printr-un *semnal acustic special* de hupă (claxon).

Semnalizarea de avarie este asociată sistemelor automate de protecție.

B. SISTEME DE COMANDĂ-SEMNALIZARE AUTOMATĂ SECVENȚIALĂ

● În figura 8.1 este prezentat un **sistem de comandă automată a unor pompe de evacuare a apei de infiltrație,** de exemplu, într-o hidrocentrală.

Înainte de a realiza o asemenea schemă trebuie să ne propunem un program de funcționare a instalației de automatizare respective, corespunzător modului în care trebuie să decurgă procesul tehnologic.

Instalația tehnologică cuprinde două pompe de apă P_1 și P_2 antrenate de motoarele electrice trifazate M_1 și M_2 și care absorb apa de infiltrație în galeria G prin sorburile S_1 și, respectiv S_2. Pentru măsurarea nivelului apei în galerie se prevede puțul P, legat de galeria G prin conducta K, astfel că puțul și galeria constituie vase comunicante.

Programul de funcționare a sistemului automat este următorul:

— *la creșterea nivelului apei de infiltrație pînă la o înălțime maximă admisibilă* N trebuie să fie pornită pompa P_1, care să evacueze apa din galerie:

— *dacă apa se menține la acest nivel sau chiar îl depășește pentru un timp mai mare decît o valoare oarecare* t_a (de exemplu, 5 minute), aceasta poate să însemne fie că pompa P_1 s-a defectat între timp și s-a oprit sau refuză să pornească, fie că pompa P_1 a primit comanda de pornire și funcționează corect însă debitul de apă infiltrat este așa de mare, încît nu poate face față singură. În ambele ipoteze este necesar să

pornească și pompa P_2 și de acest lucru trebuie să fie informat și personalul de exploatare.

Conform acestui program a fost întocmită **schema de comandă automată** din figura 8.1.

Pe suprafața apei din puțul P se află plutitorul (flotorul) F legat de contragreutatea G prin cablul flexibil D trecut peste roata R. Pe cablul D sînt fixate la înălțimi convenabile piesele O_1 și O_2.

Cînd apa se ridică în puț, flotorul F se ridică de asemenea, iar contragreutatea G coboară odată cu piesele O_1 și O_2. Piesa O_1 este astfel fixată încît, la atingerea nivelului N, ea ajunge să acționeze asupra pîrghiei B care fiind articulată în punctul X închide contactul C_1. *La scăderea nivelului apei*, flotorul coboară deplasînd sistemul mobil în sens invers astfel că la atingerea nivelului minim n piesa O_2 acționează invers pîrghia B, închizînd contactul C_2.

Pînă aici avem de-a face cu un releu de nivel avînd un contact „de maxim" C_1 și un contact „de minim" C_2.

Prin închiderea contactului C_1 releul intermediar $1R$ legat permanent la borna „minus" (—) de tensiune primește și „plusul" (+) și funcționează închizînd contactele sale E_1 și E_2 normal deschise.

Prin contactul E_1 se transmite „+" la borna a a bobinei B_1; borna b a aceleiași bobine primește „—" prin contactul E_3 normal închis al releului intermediar $2R$. Deoarece releul $2R$ este neexcitat, contactul său E_3 rămîne închis.

În aceste condiții, bobina B_1, care reprezintă motorul de execuție solenoidal (v. fig. 5.2) al întreruptorului trifazat $1I$, acționează închizînd întreruptorul respectiv. Se aplică astfel tensiunea rețelei trifazate (220/380 V) motorului M_1, care antrenează pompa P_1 Aceasta începe să evacueze apa din galeria G. Odată cu închiderea întreruptorului $1I$, se închide și „contactul auxiliar" E_6 care transmite și el „plusul" la borna a a bobinei B_1 asigurînd astfel autoexcitarea (automenținerea excitației) acestei bobine.

Dacă procesul se desfășoară normal, pompa P_1 începe să evacueze apa din galerie; după trecerea unui timp t_1 (de exemplu 2 minute) nivelul apei și deci flotorul F a coborît sub nivelul N, contactul C_1 s-a deschis iar releul $1R$ și-a revenit, deschizînd contactele sale. Deși contactul E_1 se deschide, bobina B_1 fiind autoexcitată, motopompa respectivă continuă să funcționeze. Contactul E_2 închis odată cu E_1, pornise releul de timp T, însă acesta nu a acționat deoarece timpul său de funcționare t_a (de exemplu 5 minte) a fost ales mai mare decît timpul t_1.

La atingerea nivelului minim n, este necesar ca pompa să fie oprită, ceea ce dealtfel se și realizează prin închiderea contactului de minim C_2. Prin aceasta se excită releul $2R$, care își deschide contactul său E_3 normal închis, întrerupînd alimentarea bobinei B_1. Bobina B_1 — care se

mai numește și bobina de „tensiune nulă" — eliberează contactele întreruptorului $1I$, care se deschide. Totodată se deschide și contactul E_6, întrerupînd autoexcitarea. În felul acesta, ridicarea din nou a nivelului apei deși produce deschiderea contactului C_2 și dezexcitarea releului $2R$, adică închiderea contactului E_3, nu mai are nici un efect asupra întreruptorului $1I$, acesta rămînînd deschis, iar motopompa oprită. Un nou ciclu de pompare are loc numai la atingerea nivelului maxim N.

Conform programului de automatizare, dacă nivelul maxim N se menține mai mult timp (pompa P_1 s-a defectat sau nu poate face față debitului infiltrat), contactele C_1 și C_2 stau închise un timp mai mare ca t_a. Releul intermediar $1R$ prin contactul E_2 alimentează releul de timp T, care, după trecerea timpului t_a, își închide contactele sale. Prin închiderea contactului E_4 se transmite impulsul de excitare la bobina B_2 (la fel cum E_1 a acționat bobina B_1) și întreruptorul $2I$ se închide pornind motorul M_2 și pompa P_2.

Prin închiderea contactului E_4 este acționată hupa (claxonul) H care semnalizează acustic această situație anormală. Contactul E_7 este necesar (ca și E_6) pentru autoexcitarea bobinei B_2, iar oprirea pompei P_2 este asigurată prin același contact E_3 normal închis, care se deschide la atingerea nivelului minim datorită închiderii contactului C_2 și excitării releului $2R$. Se vor prevedea lămpi verzi și roșii pentru semnalizarea optică de poziție a întreruptoarelor.

C. SISTEME DE COMANDĂ (AUTOMATĂ) DUPĂ ȘABLON (MAȘINI DE COPIAT)

Se aplică de obicei strungurilor paralele fiind folosit deci în procesul de strunjire a unor piese cu un profil dat.

Schema principală a unui asemenea sistem este prezentată în figura 8.2.

Instalația tehnologică supusă automatizării este un strung din care s-a reprezentat „capul universal" (de prindere) U care se învîrtește cu turația n și pe care este fixată piesa de prelucrat P. Pe batiul (masa) mașinii se află fixat șablonul S avînd profilul piesei care trebuie prelucrată.

Dispozitivul de automatizare montat pe păpușa mobilă a strungului cuprinde două traductoare identice T_1 și T_2 de tip inductiv diferențial cu circuit magnetic deschis.

Miezul magnetic al traductorului T_1 este solidar cu un braț „palpator" D care calcă pe conturul șablonului S, fiind apăsat de resortul spiral A. Similar, miezul magnetic al traductorului T_2 este solidar cu cuțitul de

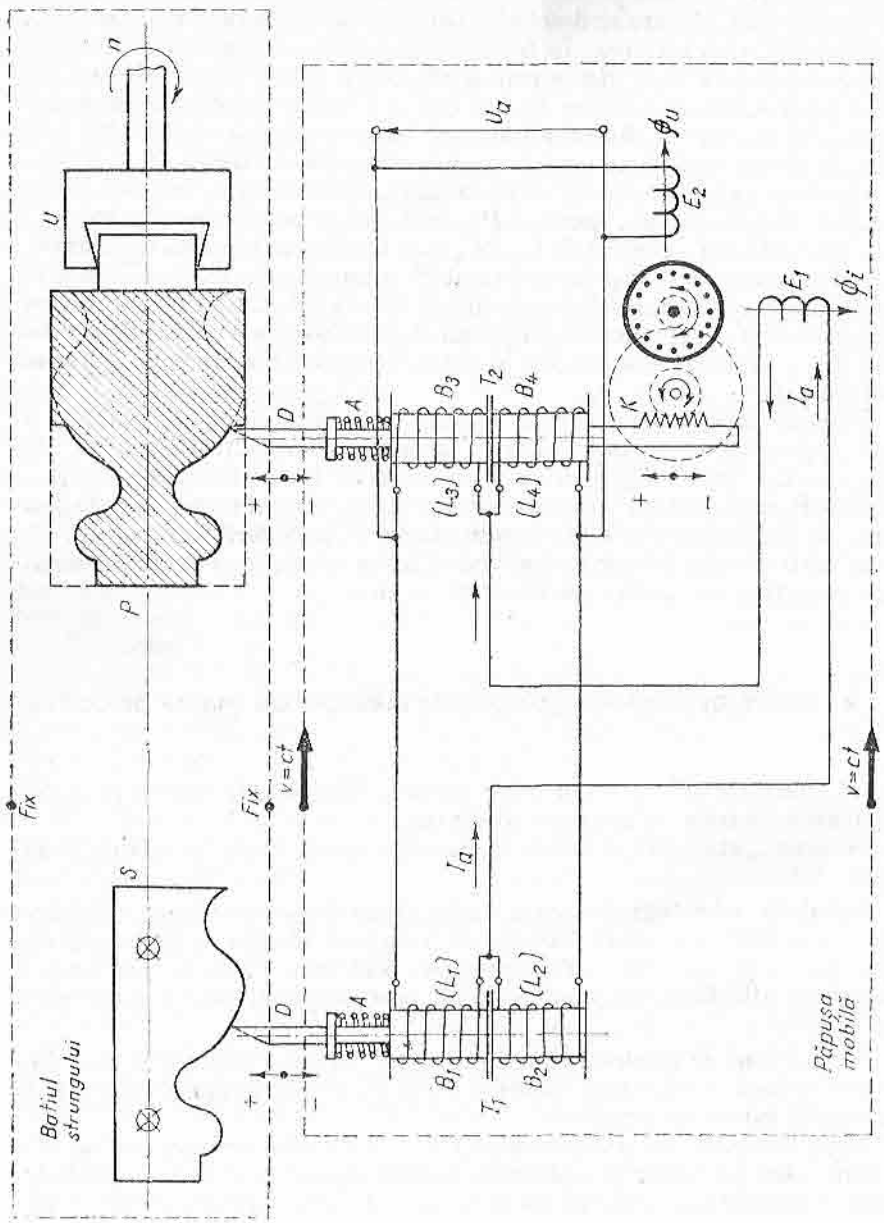


Fig. 8.2. Sistem de comandă automată după șablon.

așchiere C, precum și cu cremaliera K, antrenată prin roți dințate de motorul elecric bifazat M. Bobinele B_1 și B_2 ale traductorului T_1 împreună cu bobinele B_3 și B_4 ale traductorului T_2 constituie cele patru brațe ale unei punți de măsurare alimentată într-o diagonală cu tensiunea alternativă U_a. În cealaltă diagonală a punții, prin care circulă curentul de dezechilibru I_a, este intercalată înfășurarea E_1 a motorului bifazat M; cea de a doua înfășurare, E_2, a aceluiași motor este alimentată direct cu tensiunea U_a. Motorul se oprește numai cînd curentul I_a este zero, iar sensul său de rotație depinde de faza curentului I față de tensiunea U_a.

Cînd cuțitul ocupă aceeași poziție ca palpatorul (la aceeași distanță față de axul strungului, deci al piesei), miezurile magnetice ale traductoarelor T_1 și T_2 ocupă aceeași poziție în interiorul bobinelor respective. Ca urmare $L_1 = L_3$ și $L_2 = L_4$, prin L_1, L_3 și L_4 notînd inductanțele bobinelor B_1, B_2, B_3 și respectiv B_4. Aceasta este condiția de echilibru a punții, care se mai poate scrie $I_a = 0$. În această situație, una din înfășurările motorului nefiind alimentată, acesta stă pe loc.

Cînd palpatorul D avansează, de exemplu în sens „+" (adică spre axul strungului), inductanța L_1 va crește, iar L_2 va scădea. Față de situația de echilibrn rezultă deci $L_1 > L_3$ și $L_2 < L_4$, ceea ce va avea ca efect apariția curentului de dezechilibru I_a care, avînd o anumită fază față de tensiunea U_a, produce rotirea motorului în sensul în care cremaliera K împinge cuțitul C în același sens „+" de avansare, adică spre axul strungului. Mișcarea motorului și deci avansarea cuțitului nu se opresc decît atunci cînd ocupă aceeași poziție cu D, adică puntea s-a echilibrat ($I_a = 0$).

Dacă situația se prezintă invers, adică *față de poziția de echilibru palpatorul se retrage* (sensul „−"), inductanța L_1 va scădea, iar L_2 va crește. Față de poziția de echilibru rezultă $L_1 < L_3$ și $L_2 > L_4$ (invers în raport cu situația precedentă), ceea ce are ca efect un curent de dezechilibru I_a avînd o fază opusă celei precedente. Ca urmare, motorul se va roti în sens contrar, antrenînd prin cremaliera K cuțitul C care „urmărește" aceeași mișcare de retragere ca și palpatorul P.

În consecință, prin deplasarea păpușii mobile cu viteză constantă (v = ct) palpatorul D explorează profilul șablonului S, iar cuțitul C strunjește (copiază) acest profil pe piesa de prelucrat P.

○ **Observație.** După cum a rezultat din cele arătate, funcționarea sistemului descris asigură „urmărirea" de către cuțitul C a deplasărilor longitudinale ale palpatorului D și, ca atare, asemenea sisteme se mai numesc și *sisteme automate de urmărire.*

○ **Notă.** Sistemele automate de urmărire (de comandă) funcționînd cu un circuit închis sînt similare sistemelor de reglare automată (v. cap. 9) la care mărimea de intrare variază aleatoriu (oricum), deci se supun acelorași principii de studiu ca și sistemele de reglare.

D. SISTEME DE COMANDĂ-PROGRAM NUMERICĂ

1. Introducere

Comanda-program numerică constituie un sistem de comandă automată a unui proces pe baza unui program prestabilit utilizînd mărimi numerice, în sensul că toate mărimile care intră în sistemul de comandă sînt de tip discret.

Comanda (program) numerică are un domeniul larg de aplicabilitate, și anume: comanda mașinilor-unelte, comanda unor procese în industria chimică (instalații de dozare și amestec), in industria materialelor de construcții (prepararea betoanelor), în tehnica militară etc. Dintre aceste domenii, cel care oferă o aplicabilitate mai largă a comenzii numerice este cel al mașinilor-unelte și la el ne vom referi în cele ce urmează.

Dintre mașinile-unelte cu comandă numerică se menționează în primul rînd strungurile, mașinile de găurit, de frezat, de alezat etc.

În mod asemănător sistemelor de calcul numeric (v. cap. 11), și în cazul comenzii numerice mărimile aplicate sistemului de comandă vor fi mărimi sub formă de numere folosind sistemul de numerație în cod binar.

În figura 8.3 este prezentată **schema-bloc a unui sistem de comandă numerică.**

Din analiza schemei respective se pot face următoarele observații preliminare:

Sistemul de comandă numerică cuprinde două părți distincte:

— *instalația tehnologică* (mașina-unealtă);

— *dispozitivul de automatizare* (echipamentul de comandă numerică).

Conectarea între cele două părți principale este asigurată prin două legături:

— *legătura de comandă* (directă);

— *legătura de măsurare* (inversă sau de reacție).

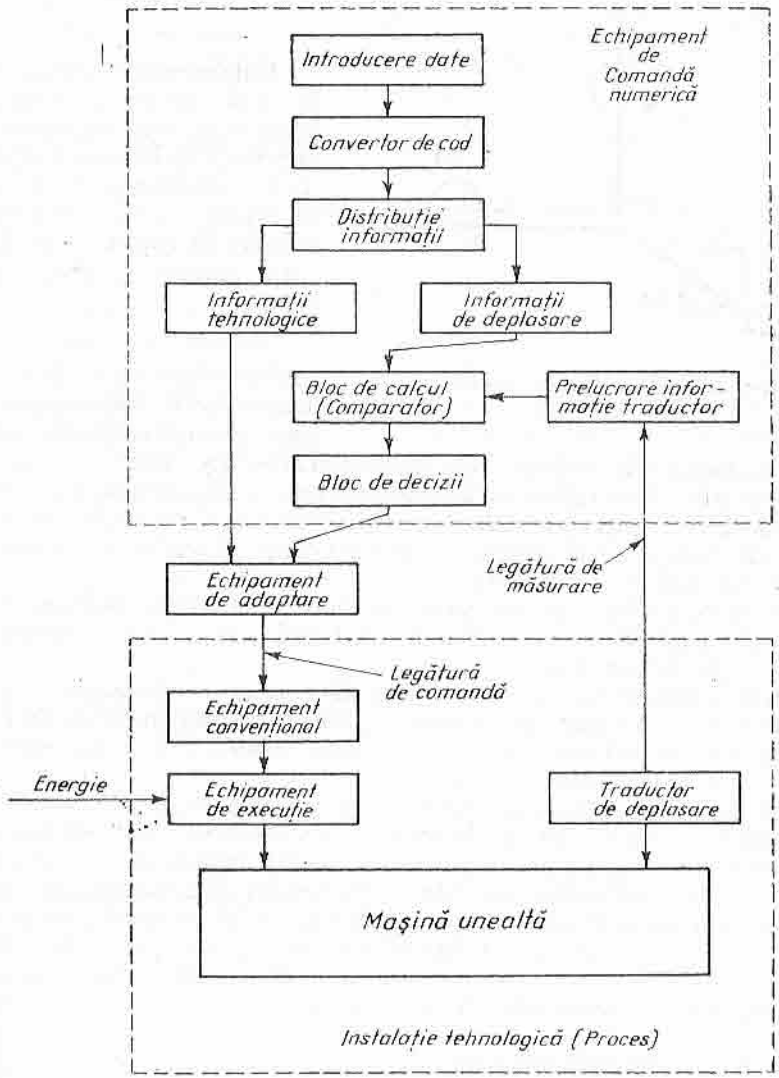


Fig. 8.3. Sistem de comandă-program numerică (schema-bloc).

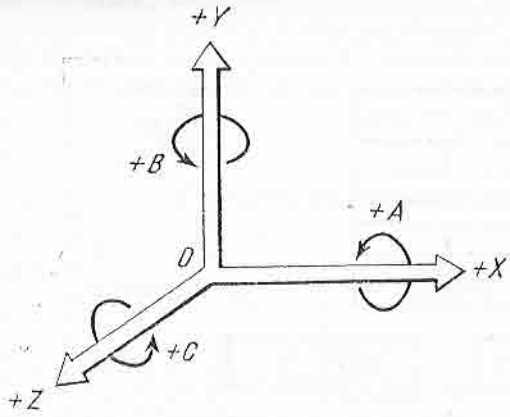


Fig. 8.4. Sistem normal de coordonate la mașini-unelte.

2. Mașina-unealtă (instalația tehnologică)

Indiferent de tipul constructiv și de natura procesului de prelucrare, orice mașină-unealtă posedă trei axe rectangulare, notate arbitrar cu X, Y și Z, în raport cu care pot exista mișcări de translație și de rotație notate A, B și respectiv C.

Atribuirea axelor de coordonate unei mașini-unelte este normalizată. De exemplu, în țara noastră sistemul normal de coordonate (fig. 8.4) este reglementat prin STAS 8902-71.

Mișcărilor de rotație li se asociază literele A, B și respectiv C, sensul pozitiv de rotație corespunzînd sensului de rotație al șurubului „dreapta" (normal) pentru a se deplasa în sensul pozitiv al axelor de coordonare X, Y și respectiv Z (fig. 8.4).

Mașina-unealtă este echipată cu motoare electrice (elemente de execuție — fig. 8.3) care permit diverse deplasări ale piesei (de poziționare, de prelucrare etc.).

Pentru măsurarea diverselor deplasări care au loc în mașina-unealtă, se folosesc traductoare de deplasare (liniară sau unghiulară). De obicei sînt folosite traductoare numerice la care mărimea de ieșire este, evident, un număr prezentat în cod binar.

În componența mașinii-unelte intră și echipamentul electric convențional, care permite ca funcția de comandă să se desfășoare fie automat, prin informațiile primite de la echipamentul de automatizare, fie „convențional" adică prin intervenția omului (de exemplu: la reglări, puneri în funcțiune, avarii etc.). Ieșirile din echipamentul convențional reprezintă deci, circuite pentru alimentare cu energie a elementelor de acționare: motoare electrice, ventile electrice, hidraulice sau pneumatice, cuplaje electromagnetice etc.

3. Echipamentul de adaptare

Echipamentul de adaptare asigură adaptarea semnalelor primite de la echipamentul de comandă numerică cu cerințele impuse echipamentului de conducere a mașinii-unelte înainte de a fi automatizată.

Printre **funcțiile** echipamentului de adaptare se pot menționa cele de *convertire a codului informației de ieșire din echipamentul de comandă numerică*, cele de *amplificare a semnalelor care caracterizează informația*, unele impulsuri de interblocări și confirmări etc.

4. Echipamentul de comandă numerică

Cuprinde o serie de elemente componente interconectate prin legături internaționale simple.

a. *Introducerea datelor*

● Introducerea datelor poate fi făcută manual sau automat. Introducerea automată a datelor presupune ca și în cazul sistemelor electronice de calcul, memorarea acestora pe un mediu suport-**purtător de informații**: *cartele perforate, bandă magnetică, bandă perforată* etc. Dintre acestea, cea mai largă răspîndire o are banda perforată.

Banda perforată este formată dintr-o bandă de hîrtie sau material plastic pe care sînt înscrise datele din program, după unele reguli stabilite la nivel internațional, într-un cod standardizat (STAS 9210-73), (fig. 8.5).

● **Cititoarele de bandă** sînt fie *electromecanice*, adică cu contacte care se închid în dreptul unei perforații, fie *fotoelectrice*.

● **Convertorul de cod** transformă (convertește) informațiile primite, din cod binar într-un cod zecimal realizat cu relee, cu elemente de comutație statică sau, matricial, cu diode (v. fig. 7.3).

b. *Distribuția informației*

● **Blocul de distribuție.** Echipamentul de comandă numerică transmite mașinii-unelte două feluri de informații, și anume:

— *informații de deplasare (cantitative)*;
— *informații tehnologice (calitative)*;

Datele introduse sînt formate dintr-o așa-numită adresă, urmată de o parte numerică. Adresa este întotdeuna exprimată printr-o literă urmată de un număr care arată mărimea deplasării. De exemplu: Z 2—7—5 înseamnă deplasare pe axa Z cu 275 mm.

Această informație este distribuită:

— pe *canalul informațiilor tehnologice* (Z);
— *pe canalul informațiilor de deplasare* (275).

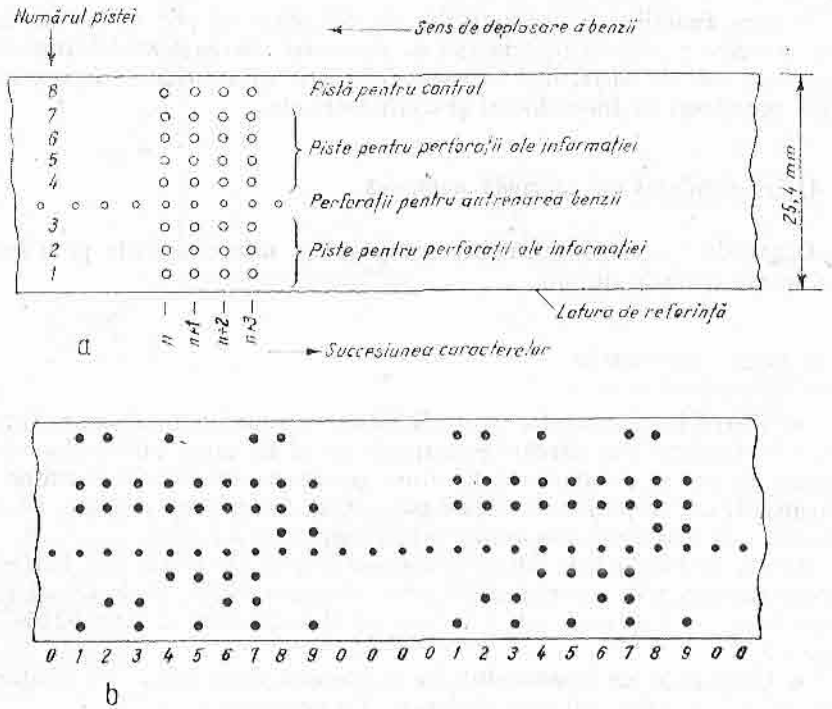


Fig. 8.5. Banda perforată pentru comanda numerică:
a — formatul benzii; *b* — exemplu de înscriere a unei informații.

Blocul de distribuție a informației are așadar rolul de a separa informațiile tehnologice de informațiile de deplasare.

● **Blocul de calcul** realizează funcția „comparatorului" din sistemele de reglare automată (cap. 6 și 9), adică compară semnalele de comandă primite la intrare cu semnalele reale primite de la traductorul (traductoarele) de deplasare.

Informațiile primite de la traductorul de deplasare sînt prelucrate astfel încît să poată fi comparate (compatibile) cu cele primite de la intrare.

● **Blocul de decizii** primește informațiile de la blocul de calcul și dă comenzi adecvate instalației tehnologice în sensul compensării (anulării) abaterilor mașinii-unelte de la pozițiile sau instrucțiunile impuse de program.

Comenzile pot fi *discrete* sau *continue*, astfel ca mașina-unealtă să descrie acele poziționări și prelucrări care ar fi efectuate de un operator perfect (funcționare optimală) — v. cap. 12.

REZUMAT

1. *Comanda automată* reprezintă intervenția dispozitivului de automatizare în modificarea poziției sau stării unor agregate sau elemente din instalația tehnologică, în scopul modificării unor parametri din proces.

2. Comanda automată *poate fi*:

— continuă, cînd parametrii sînt variați în mod continuu (de exemplu la sistemele automate de copiat);

— discontinuă, cînd elementele (sau mărimile) comandate iau poziții (valori) distincte (de exemplu la sistemele de comandă automată secvențială sau numerică).

3. *Semnalizarea* este o funcție de informare cu caracter discontinuu asupra poziției sau stării unor agregate. Ea se concretizează:

— optic — prin lămpi sau alte sisteme de indicare;

— acustic — prin hupă (claxon) sau sonerie.

4. *În sistemele de comandă automată secvențială* elementele sau mărimile comandate iau numai două poziții sau valori distincte (logică bivalentă: 0 sau 1) operațiunile de comandă desfășurîndu-se într-o succesiune (secvență) prestabilită.

5. *Sistemele automate de copiat* posedă un circuit închis, deci pot fi considerate ca sisteme de reglare automată (cap. 9) cu intrarea variabilă aleatoare. În aceste sisteme automate, mărimile care intervin, inclusiv funcția de comandă, sînt continue.

6. *Sistemele automate de comandă-program numerică* a mașinilor-unelte posedă un bloc de calcul, precum și unele elemente (benzi perforate, capete de citire, memorii etc.), similare calculatoarelor.

Aceste sisteme sînt cu circuit închis, mărimile care intervin — inclusiv programul de lucru — fiind reprezentate în cod de numerație binar.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Comanda automată este o funcție care poate fi:
   a) numai continuă?
   b) numai discontinuă?
   c) continuă sau discontinuă?
2. Comanda continuă se folosește:
   a) numai la sistemele cu circuit închis?
   b) numai la sistemele cu comandă numerică?
   c) numai la sistemele secvențiale?
3. Comanda discontinuă (discretă) se aplică:
   a) numai la sistemele numerice?
   b) numai la sistemele secvențiale?
   c) la sistemele secvențiale și numerice?
4. Sistemele automate de copiat sînt:
   a) sisteme deschise?
   b) sisteme închise?
   c) sisteme numerice?
5. Sistemele de comandă numerică a unor mașini-unelte cu prelucrare liniară au imprimat pe banda perforată:
   a) numai informații de deplasare?
   b) numai informații tehnologice?
   c) informații tehnologice și de deplasare?

Capitolul 9

SISTEME DE REGLARE AUTOMATĂ

A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE PRIVIND SISTEMELE DE REGLARE

1. Sarcina reglării automate

Reglarea automată este *acel proces, îndeplinit automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă, fie își schimbă valoarea la intervale de timp date, conform unui anumit program, luînd astfel o succesiune de valori prescrise.*

Un dispozitiv automat, numit *regulator*, înlocuiește funcțiile îndeplinite de către operatorul uman, realizînd totodată legătura între aparatul de măsurat cu ajutorul căruia se constată permanent diferența dintre valoarea instantanee (la un moment dat) și valoarea prescrisă a mărimii fizice reglate și elementul de execuție, prin care se acționează asupra obiectului (instalației sau procesului) reglat.

2. Mărimile care intervin în procesul reglării

Pentru procesele tehnice, aplicarea reglării are o importanță deosebită. De exemplu, funcționarea mașinilor cu abur, a turbinelor, a motoarelor cu ardere internă etc., este direct legată de reglarea turației, a presiunii, a debitului de combustibil, a temperaturii, a ungerii etc.

Desigur, o reglare este necesară numai atunci cînd mărimea reglată nu poate rămîne constantă de la sine, la valoarea dorită, și are tendința de a-și modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puțin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

În cazul oricărei reglări, se deosebește *o mărime reglată* și o *mărime de execuție.*

● *Mărimea care trebuie menținută la valoarea prescrisă* este **mărimea reglată.** Mărimi reglate sînt, de exemplu, temperatura, debitul, turația, tensiunea electrică, nivelul dintr-un rezervor etc. În afară de acestea, în tehnică intervin multe alte mărimi reglate. În tabelul 9.1 sînt enumerate principalele mărimi reglate din diferite domenii ale tehnicii.

● **Mărimea de execuție** este *mărimea obținută la ieșirea organului de execuție și cu ajutorul căreia se poate influența ușor mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită.*

Tabelul 9

Principalele mărimi reglate din diferite domenii ale tehnicii

Domeniul	Mărimi reglate
Construcții de mașini	forță cuplu viteză turație accelerație cursă, nivel, poziție presiune etc.
Electrotehnică	tensiune curent putere (activă, reactivă) frecvență defazaj amplificare iluminare etc.
Chimie	temperatură presiune debit nivel proporție de amestec concentrație de ioni ($_pH$) putere calorică concentrația gazelor umiditate etc.
Tehnica transporturilor	viteză accelerație direcție altitudine înclinare etc.

De exemplu, dacă se cere ca într-un cuptor cu gaz să fie menținută constantă temperatura, aceasta din urmă poate fi influențată în sensul dorit (creștere sau scădere) prin modificarea debitului de gaz de ardere. În acest caz, mărimea reglată este temperatura, iar mărimea de execuție este debitul de gaz.

Dacă se urmărește menținerea constantă a turației unui motor electric de curent continuu, pentru variația turației în sensul dorit se variază

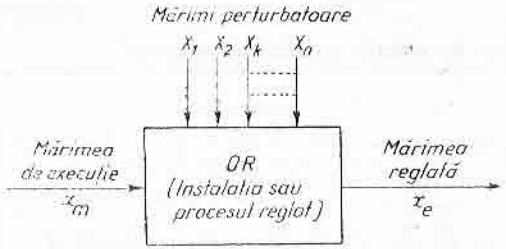


Fig. 9.1. Schema-bloc a elementului automatizat:
OR — obiectul reglat; x_e — mărimea reglată x_m — mărimea de execuție; X_1, X_2 ... X_m — mărimi perturbatoare.

curentul de excitație al motorului. Deci, mărimea reglată este, în acest caz, turația, iar mărimea de execuție este curentul de excitație al motorului.

● *Influențele externe sau interne care sînt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă*, se numesc, în tehnica reglării, **perturbații** sau **mărimi perturbatoare.**

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influența uneia sau a mai multor mărimi perturbatoare.

În cazul reglării temperaturii într-un cuptor de gaz, se pot considera ca mărimi perturbatoare presiunea variabilă a gazului, puterea calorică variabilă a gazului, temperatura diferită a mediului ambiant, cantitatea variabilă de căldură absorbită de cuptor etc.

La reglarea turației motorului de curent continuu se exercită influența unor perturbații diferite; tensiunea variabilă de alimentare, a motorului, variația cuplului de sarcină cerut de mașina de lucru antrenată de motorul respectiv, variația rezistenței electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenței uneia dintre mărimile perturbatoare este preliminat: această perturbație este considerată ca principală și acțiunea de reglare se manifestă în sensul eliminării abaterii mărimii reglate de la valoarea prescrisă sub influența perturbației principale.

În figura 9.1 este reprezentată schema-bloc a obiectului reglării (instalația sau procesul supuse reglării). La intrarea obiectului reglării, reprezentat simbolic printr-un dreptunghi, se aplică mărimea de xecuție x_m; la ieșire, rezultă mărimea reglată x_e. Din exterior, se exercită acțiunea unor mărimi perturbatoare X_1, X_2, ...X_n, dintre care urmează a fi selectată perturbația principală.

3. Sisteme de reglare automată

În cazul instalațiilor sau proceselor la care precizia cerută operațiunilor de reglare este mare sau la care alți indicatori specifici procesului respectiv fac imposibilă prezența operatorului uman (de exemplu, la viteze mari de variație a parametrilor reglați, la determinarea implicită a variației acestora din variația altor mărimi fizice, în cazul funcționării

a valori înalte a unor parametri ca tensiunea electrică, presiunea aburului etc. sau în medii nocive etc.) se impune eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatele de măsurat și organul de execuție și înlocuirea sa printr-un dispozitiv care să execute automat și în aceeași succesiune operațiile executate mai înainte de către om.

Acest *dispozitiv, care elimină intervenția omului din procesul de reglare și funcționează fără intervenția omului*, este **regulatorul automat** (v. cap. 6).

Reglarea este o *reglare automată*, iar sistemul respectiv, un *sistem de reglare automată* (pescurtat SRA).

a. *Instalația de reglare automată*

În figura 9.2, s-a reprezentat simplificat o instalație pentru reglarea automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură. Instalația de reglare automată cuprinde *elementul de măsurat, elementul de comparație, regulatorul automat* și *elementul de execuție*.

● **Elementul de măsurat** (traductorul) *EM* este reprezentat de termometrul manometric *1*, instalat pe conducta de apă caldă, la ieșirea

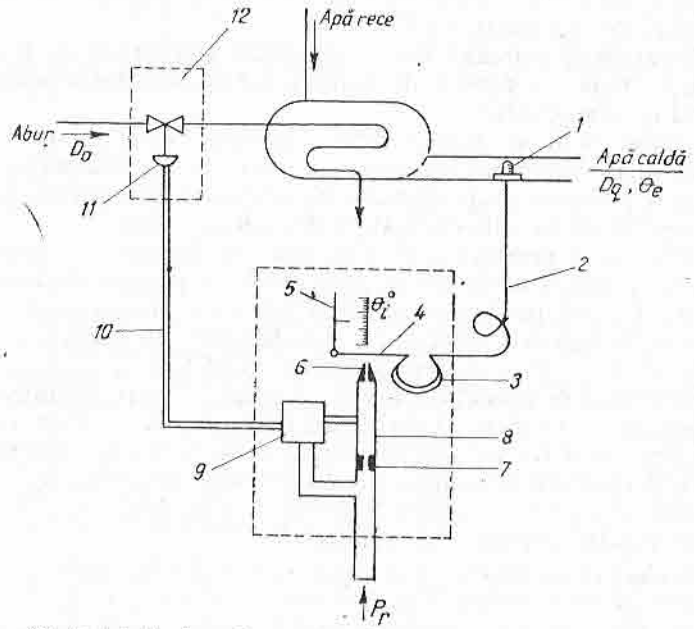


Fig. 9.2. Instalația de reglare automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură.

din încălzitor. Acest element măsoară temperatura θ_e a apei la ieșir și transformă energia termică absorbită de la apa caldă într-o variație de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar *2* la tubul Bourdon *3*; acesta din urmă transformă variația de presiune într-o deplasare, prin care se modifică poziția paletei *4*. Elementele *1*, *2*, *3* și *4*, la care se poate adăuga și indicatorul *5* (atunci cînd există), formează împreună elementul măsurat.

● **Elementul de comparație** *EC* compară temperatura apei la ieșire θ_e cu valoarea prescrisă (de consemn) θ_i, rezultînd abaterea de reglare sau eroarea: $x_a = \Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$. În schema din figura 9.2, valoarea prescrisă a temperaturii $\theta_i = x_i$ = mărimea de intrare este reprezentată prin punctul de oscilație al paletei *4*. Acest punct poate fi deplasat manual, în sus sau în jos, cu ajutorul tijei *5*. Valoarea măsurată θ_e a temperaturii apei la ieșirea din încălzitor este reprezentată prin poziția extremității mobile a tubului Bourdon, articulată cu paleta *4*. Atunci cînd $\theta_e = \theta_i$, (deci $\Delta\theta = 0$), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutajului conic *6*. La orice altă valoare $\theta_e \neq \theta_i$ (deci $\Delta\theta \neq 0$), poziția punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporțională cu diferența $(\theta_i - \theta_e)$. Temperatura θ_e reprezintă mărimea de ieșire x_e, iar deplasarea extremității tubului Bourdon reprezintă mărimea de reacție x_r. Rezultă eroarea: $x_a = x_i = x_r = \varepsilon$, mărimea de la ieșirea elementului de comparație *EC*.

● **Regulatorul automat** *RA*, reprezentat simplificat în figura 9.2, îndeplinește numai o funcție de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparație.

În spațiul *8* al amplificatorului pneumatic (sistem duză-paletă), alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare *7*, se obține o presiune proporțională cu distanța între paletă și ajutaj, deci proporțională cu diferența $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$.

Amplificatorul pneumatic *9*, alimentat de la aceeași sursă de aer comprimat, produce în conducta *10* o presiune proporțională cu $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$. Această presiune reprezintă mărimea de comandă x_c, adică mărimea de la ieșirea regulatorului *RA*. Mărimea de comandă este mărimea de intrare pentru elementul de execuție *EE*.

● **Elementul de execuție** *EE* este ventilul *12*, care modifică debitul D_a al aburului de încălzire. Ventilul are o membrană *11*, asupra căreia se exercită presiunea de aer din conducta *10*, de la ieșirea din regulator. Secțiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului D_a (mărimea de execuție x_m) care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalația reglată sau obiectul reglării *OR*).

○ **Se observă că** un sistem de reglare automată are rolul de a realiza o anumită lege de dependență între mărimea de ieșire x_e, care caracterizează la un moment dat o instalație sau un proces tehnologic, și mărimea de intrare x_i, prin care se comandă modificările în funcționarea acestora.

b. *Sistemul de reglare automată*

Ansamblul format din obiectul reglării (instalația reglată) + *regulatorul automat* + *elementele de măsurare și execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces*, se numește **sistem de reglare automată** (*SRA*).

Pentru studiul reglării automate este folositoare o reprezentare simbolică, denumită *schemă funcțională*.

Schema funcțională a unui sistem de reglare automată este acea *schemă în care se indică elementele componente ale sistemului de reglare automată (SRA), destinația lor și legăturile funcționale între ele.*

Elementele unui sistem de reglare automată sînt reprezentate în schema funcțională prin blocuri funcționale.

Schema funcțională a unui *SRA* conține:

— *legătura directă sau principală*, care înglobează toate elementele cuprinse între elementul de comparație *EC* și ieșirea instalației automatizate;

— *legătura inversă sau secundară*, numită deseori *„cale de reacție"*, care cuprinde elementele situate între ieșirea instalației automatizate și elementul de comparație.

Transmiterea semnalului (sau informației) se face de la intrare spre ieșirea *SRA* pe legătura directă și de la ieșire spre intrarea *SRA* — pe legătura inversă.

Împreună, cele două legături (directă și inversă) alcătuiesc un *circuit închis de reglare automată* sau o *buclă de reglare*.

În schema funcțională se indică mărimile de intrare și de ieșire ale fiecărui element; precum și sensul în care un element influențează pe celălalt, adică sensul de transmitere a semnalului (sau informației) în cuprinsul sistemului de reglare automată.

Pentru fiecare element din schemă semnalul se transmite în sens unic, de la intrarea elementului la ieșirea acestuia. În acest fel, pentru fiecare bloc se stabilește o dependență a mărimii de la ieșire față de variația mărimii de la intrarea elementului respectiv.

Se obișnuiește a se reprezenta schema funcțională prin înșiruirea elementelor componente ale *SRA*, în ordinea strictă a legăturilor funcționale între ele. De exemplu, pentru instalația de reglare automată din figura 9.2, schema funcțională este reprezentată în figura 9.3 (reprezentare valabilă și pentru alte *SRA*).

Obiectul reglării (elementul automatizat sau instalația tehnologică reglată), la ieșirea căruia se obține mărimea de ieșire x_e (în cazul de față, temperatura apei la ieșire θ_e) este supus influenței mărimilor perturba-

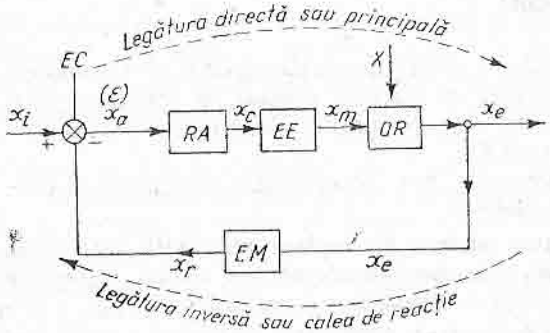


Fig. 9.3. Schema funcțională a unui *SRA*.

toare X din exterior, sub acțiunea cărora se produc variații ale mărimii reglate. În cazul sistemului din figura 9.2, mărimea perturbatoare este variația debitului de apă caldă D_a consumat.

● **Observație.** Pentru simplificarea studiului *SRA*, printr-o alegere convenabilă a unităților de măsură ale mărimilor x_r și x_e se poate ajunge la egalitatea: $x_r = x_e$. În acest fel, se poate elimina din reprezentarea schemei funcționale a unui *SRA* elementul de măsurat *EM* de pe calea de reacție (fig. 9.4).

În figura 9.4 este reprezentată schema funcțională a unui *SRA* fără element de măsurat pe calea de reacție sau, cum este numit de obicei, *SRA cu reacție unitară*. Desigur că, în urma acestei simplificări, se poate considera pentru mărimea de acționare valoarea $x_a = x_i - x_e = \varepsilon$.

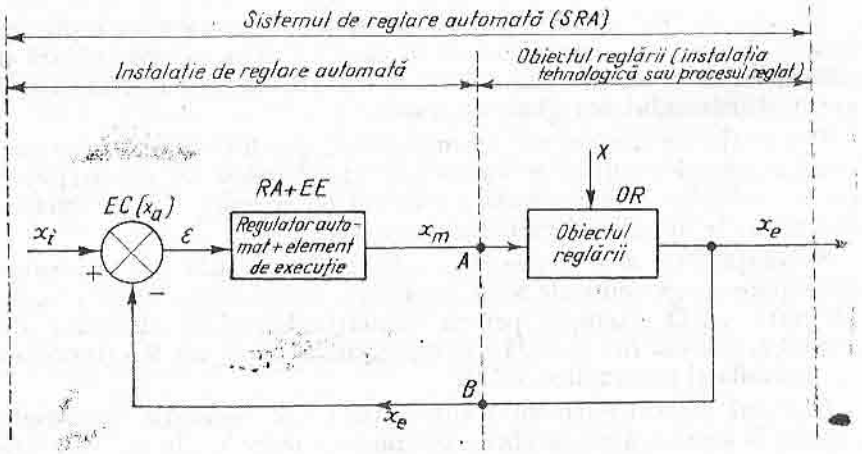


Fig. 9.4. Schema funcțională a unui *SRA* cu reacție unitară.

Principalele avantaje care rezultă din aplicarea reglării automate sînt:

— *creșterea cantitativă a producției obținute în unitatea de timp* (mărirea productivității);
— *îmbunătățirea calității produselor:*
— *economisirea materiilor prime și auxiliare necesare;*
— *reducerea numărului instalațiilor și utilajelor necesare;*
— *reducerea cheltuielilor de producție și a costului produselor;*
— *îmbunătățirea condițiilor de lucru* (menajarea efortului uman în procesul muncii și eliberarea omului de munca grea și monotonă).

În țara noastră, introducerea mijloacelor de automatizare în general și a instalațiilor de reglare automată, în particular, a cunoscut un ritm înalt și continuu ascendent. În deplină concordanță cu politica de industrializare socialistă a țării, cu continua dezvoltare a cercetării științifice și promovarea progresului tehnic, în cincinalul actual se vor extinde mecanizarea și automatizarea producției. Astfel, în anul 1980, producția de mijloace de automatizare și ale tehnicii de calcul va întrece de 2,66 pînă la 3,01 ori nivelul realizat în anul 1975, ceea ce va reprezenta un ritm de creștere mult mai rapid în raport cu alte ramuri ale industriei noastre în continuă dezvoltare.

B. CLASIFICAREA SRA

Sistemele de reglare automată se pot clasifica în funcție de numărul buclelor de reglare, în funcție de viteza de variație a mărimii reglate (sau viteza de răspuns), în funcție de numărul mărimilor reglate și după tipul acțiunii regulatorului automat.

● **În funcție de numărul buclelor de reglare** se deosebesc:
— *SRA cu o buclă de reglare* (sau cu un singur regulator automat);
— *SRA cu mai multe bucle de reglare* (sau cu mai multe regulatoare automate).

SRA cu mai multe bucle de reglare pot fi sisteme *de reglare în cascadă*, care cuprind mai multe regulatoare automate, cu ajutorul cărora, pe lîngă mărimea de ieșire x_e, sînt reglate și alte mărimi intermediare din cuprinsul instalației sau procesului reglat, și sisteme *de reglare combinată*, în care pe lîngă regulatorul automat principal se prevăd unul sau mai multe regulatoare suplimentare, care intră în funcțiune numai la apariția anumitor acțiuni perturbatoare.

● **În funcție de aspectul variației în timp a mărimii de la intrare** x_i (deci după variația în timp impusă mărimii de ieșire x_e) se deosebesc:

— *sisteme de stabilizare automată* (cînd $x_i = ct$ — de exemplu menținerea constantă a unui parametru — ca în figura 9.5, *a*); acestea se mai numesc *SRA cu consemn fix* sau *cu program fix*;

— *sisteme de reglare automată cu program variabil* (cînd x_i variază în timp după o lege prestabilită — de exemplu la cuptoarele industriale pentru tratamente termice — ca în figura 9.5, *b*); acestea se mai numesc *SRA cu consemn programat*;

— *sisteme de reglare automată de urmărire* (cînd x_i variază în funcție de un parametru din afara *SRA*, legea de variație în timp a acestui parametru nefiind cunoscută dinainte).

● **În funcție de viteza de răspuns a obiectului reglării la un semnal** x_i **aplicat la intrare,** se deosebesc:

— *SRA pentru procese lente* (cele mai răspîndite, instalațiile tehnologice industriale, caracterizîndu-se printr-o anumită inerție), ca, de exemplu, cel din figura 9.2;

— *SRA pentru procese rapide*, cum sînt sistemele de reglare automată aplicate mașinilor și acționărilor electrice (de exemplu reglarea turației motoarelor, reglarea tensiunii generatoarelor etc.).

● **După numărul mărimilor de ieșire ale obiectului reglat asupra cărora se exercită acțiunea de reglare automată,** se deosebesc:

— *SRA cu o singură mărime reglată* (sau *SRA* convenționale);

— *SRA cu mai multe mărimi reglate simultan* (sau *SRA* multivariabile).

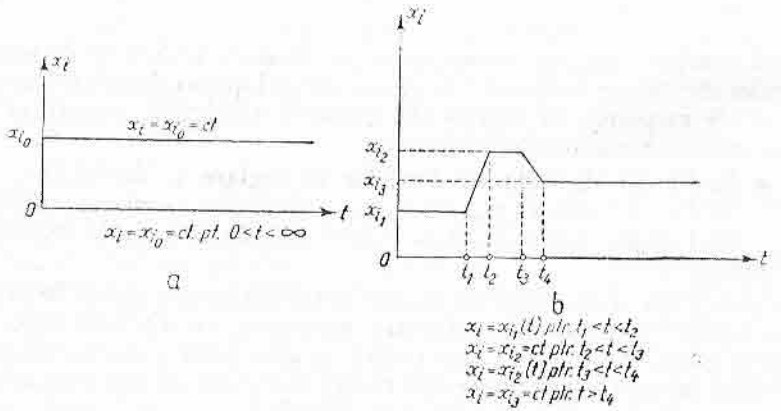


Fig. 9.5. Variația mărimii de la intrarea *SRA*:
a — *SRA* cu program fix (sau consemn constant); *b* — *SRA* cu program variabil (sau consemn variabil).

● **După tipul acțiunii regulatorului automat,** se deosebesc:

— *SRA cu acțiune continuă*, la care mărimea de ieșire a fiecărui element component este o funcție continuă de mărimea sa de intrare. Aceste *SRA* conțin fie regulatoare liniare, la care dependența $x_e = f(\varepsilon)$ este liniară, fie regulatoare neliniare, la care această dependență este neliniară;

— *SRA cu acțiune discontinuă (discretă)*, la care mărimea de la ieșirea regulatorului este reprezentată de o succesiune de impulsuri de reglare, fie modulate în amplitudine sau durată (cazul regulatoarelor cu impulsuri), fie codificate (cazul regulatoarelor numerice).

C. FORMELE FUNDAMENTALE ALE VARIAȚIEI SEMNALULUI APLICAT LA INTRARE, FUNCȚII TIP PENTRU $x_i(t)$. RĂSPUNSUL *SRA* LA FUNCȚIILE DE INTRARE TIP

De obicei, variația semnalului $x_i(t)$ de la intrarea unui sistem automat este cunoscută și se reprezintă printr-o funcție continuă de timp.

În cazul sistemelor de reglare automată, mărimea de la intrare variază într-un mod predeterminat, după un anumit program. În multe situații din practica *SRA*, acest program este reprezentat de o *funcție tip*, adică de o funcție simplă, cu variație specifică, dar comună pentru numeroase sisteme de reglare.

Funcțiile tip ale variațiilor mărimilor de intrare, precum și ale mărimilor de ieșire corespunzătoare, sînt prezentate în figura 9.6. Acestea reprezintă formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrarea unui *SRA*.

Pentru mărimile de intrare, $[x_i(t)]$, funcțiile tip se numesc: *treaptă unitară, rampă unitară, impuls unitar* și conduc la funcții de ieșire $[x_e(t)]$ (răspunsuri) denumite respectiv *funcție indicială, răspuns pentru rampa unitară, funcție ponderе.*

● **Funcția treaptă unitară** $x_{i1}(t)$ are valoarea zero pentru valori de timp $t < 0$, face un salt la valoarea 1 în momentul $t = 0$ și păstrează această valoare pentru întregul interval $t > 0$. Răspunsul sistemului de reglare automată, adică variația mărimii de ieșire $x_e(t)$ pentru o variație treaptă unitară la intrarea *SRA*, se numește *funcție indicială* sau *răspuns indicial.*

● **Funcția rampă unitară** $x_{i2}(t)$ reprezintă o creștere cu viteză de variație unitară:

$$\frac{dx_{i_2}(t)}{dt} = 1, \text{ pentru } t > 0. \tag{9.1}$$

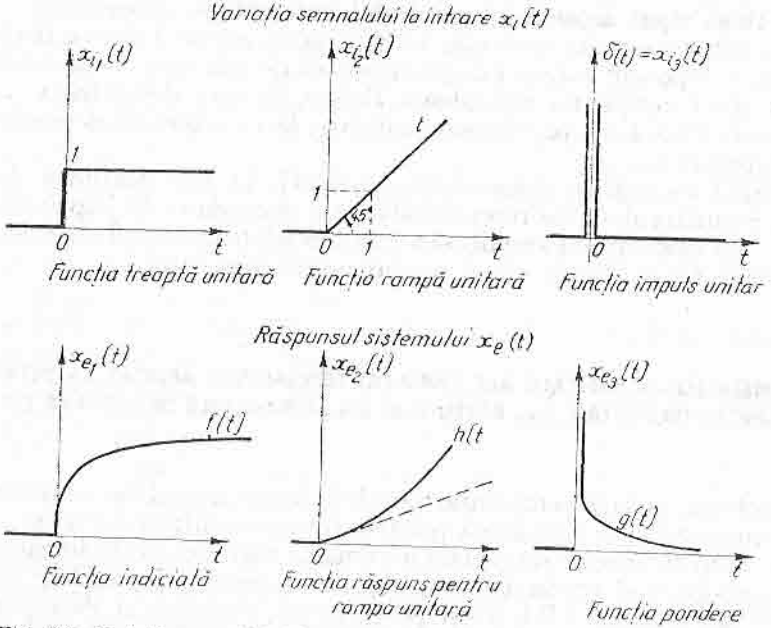


Fig. 9.6. Variația semnalului de la intrare și răspunsul *SRA* pentru diferite funcții tip.

Pentru $t < 0$, $x_{i2}(t)$ este nulă. Dreapta care reprezintă variația lui $x_i(t)$ face un unghi de 45° cu axa timpului.

● **Funcția impuls unitar** $x_{i3}(t) + \delta(t)$, reprezentată în aceeași figură*, se definește astfel:

$$\delta(t) = 0 \text{ pentru } t \neq 0;$$
$$\delta(t) = \infty \text{ pentru } t = 0. \tag{9.2}$$

Răspunsul unui sistem automat la funcția $\delta(t)$ se numește *funcție pondere*.

Cu ajutorul funcțiilor tip, studiul funcționării *SRA* cu comportare liniară la o variație oarecare a mărimii de intrare x_i se reduce la descompunerea acesteia în funcții tip, la determinarea comportării *SRA* în raport cu fiecare din aceste funcții tip și, în cele din urmă, la suprapunerea efectelor, pentru a afla răspunsul *SRA*.

* Această funcție a fost folosită încă de O. Heaviside și a fost studiată amănunțit de P. Dirac, care a introdus-o în fizică. Din această cauză, funcția $\delta(t)$ se mai numește „*impuls Dirac*" sau „*funcție-ac*".

1. Metode de analiză

Analiza *SRA* în domeniul timpului — în sensul analizei funcționării acestora — permite obținerea unor informații complete și precise asupra funcționării *SRA* prin studierea răspunsului indicial, adică a variației în timp a mărimii reglate, pentru o variație în treaptă unitară a perturbației „mutată" la intrarea *SRA* (deci, considerată cu variație la intrare x_i).

Răspunsul indicial al unui *SRA* se determină *prin calcul* sau *experimental*.

● **Determinarea răspunsului indicial prin calcul** necesită rezolvarea ecuațiilor diferențiale care descriu funcționarea elementelor *SRA* și a sistemului în ansamblu. În cazul unor sisteme de reglare complexe, cum sînt cele din industrie, rezolvarea acestor ecuații diferențiale este dificilă; de cele mai multe ori, se recurge la ajutorul calculatoarelor electronice.

● **La ridicarea experimentală a funcției indiciale** (fig. 9.7), elementul de execuție se fixează manual astfel, încît mărimea reglată să ia aproximativ valoarea de funcționare. Apoi, mărimea de execuție se variază brusc, de exemplu cu 10% din domeniul în care poate fi variată și se urmărește variația în timp a mărimii reglate, începînd din momentul modificării. Aceste variații sînt fie citite pe aparate indicatoare și notate pe diagrame, fie — în special în cazul proceselor cu desfășurare rapidă — înregistrate pe aparate înregistratoare sau pe oscilografe. Se ob-

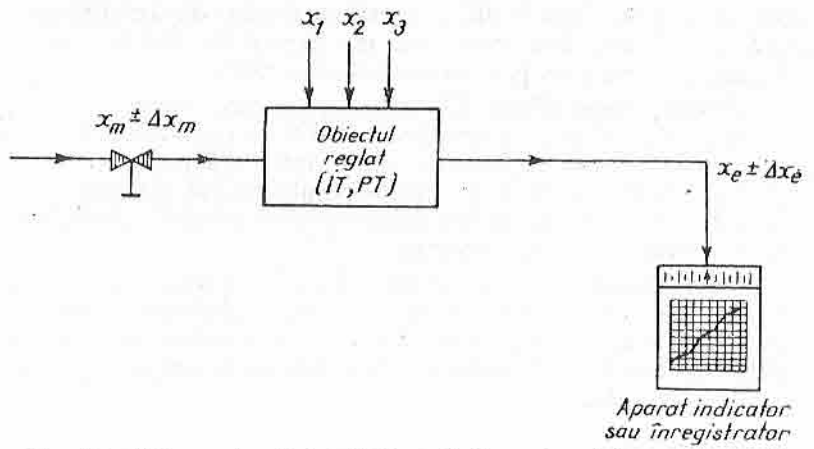


Fig. 9.7. Ridicarea funcției indiciale referitoare la mărimea de execuție.

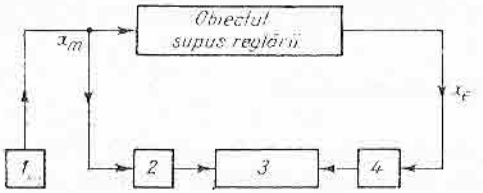


Fig. 9.8. Schema-bloc a instalației pentru determinarea experimentală a funcției indiciale:
1 — panou de comandă la distanță a elementului de execuție; *2, 4* — traductoare electrice ale mărimilor de intrare și ieșire; *3* — înregistrator cu puncte de măsurare multiple.

ține astfel răspunsul indicial la variația mărimii de execuție.

La determinarea răspunsului indicial referitor la mărimea de perturbație se poate proceda, în principiu, la fel. Ridicarea răspunsului indicial este metoda cea mai simplă pentru determinarea performanțelor unui sistem de reglare automată.

Pentru ridicarea răspunsului indicial al unui obiect supus reglării, ca de altfel al oricărui *SRA*, se poate folosi schema bloc a instalației de experimentare indicată în figura 9.8.

2. Funcția de transfer

Fiecare element al *SRA* poate fi reprezentat simbolic printr-un bloc cu intrare și ieșire.

● **În regim staționar,** raportul $K_A = \frac{x_e}{x_i}$ pentru fiecare element în parte reprezintă *coeficientul (sau factorul) de amplificare* al acestuia. Datorită sensului unidirecțional al transmisiei semnalului — numai de la intrarea la ieșirea elementului — acest coeficient de amplificare are totodată semnificația unui coeficient sau raport de transfer (în sensul transferului unei comenzi prin elementul respectiv).

Coeficientul de amplificare K_A este un indicator important pentru aprecierea reglării și pentru ajustarea corectă a regulatorului. De asemenea, coeficientul de amplificare are o influență hotărîtoare asupra calității reglării. De exemplu, pentru ca regulatorul să-și poată îndeplini în bune condiții funcționarea lui, coeficientul de amplificare K_A trebuie să aibă o anumită valoare optimă.

Dacă se cuplează între ele în serie (sau lanț) mai multe elemente funcționale (blocuri ale *SRA*), ieșirea elementului precedent devine intrarea celui următor (fig. 9.9). În această situație, coeficientul de amplificare global K_{AG} al lanțului este produsul dintre coeficienții elementelor individuale:

$$K_{AG} = K_{AI} \cdot K_{AII} \cdot K_{AIII} \qquad (9.3)$$

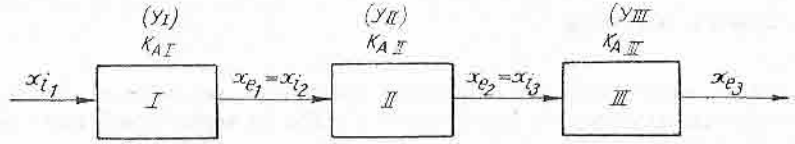


Fig. 9.9. Legarea în lanț a elementelor unui *SRA*.

● **În regim dinamic** (sau tranzitoriu), coeficientul de transfer devine variabil în timp și capătă semnificația unei *funcții de transfer*. Funcția de transfer se notează cu Y. Pentru fiecare element corespunde cîte o funcție de transfer (Y_I, Y_{II}, Y_{III} — în fig. 9.9).

Funcția de transfer depinde de structura și de parametrii blocului sau elementului pentru care se determină, adică de natura elementelor fizice din care este alcătuit acesta și de constantele lor (rezistență, capacitate, masă, inductanță etc.) și are o importanță deosebită în domeniul automatizărilor.

Folosirea noțiunii de funcție de transfer permite să se reprezinte sistemele automate, în particular cele de reglare automată, oricît de complicate, prin scheme-bloc în care elementele sau reuniunile de elemente sînt reprezentate prin dreptunghiuri avînd funcții de transfer independente (fig. 9.9).

Calculul efectiv al unei funcții de transfer necesită cunoașterea rezolvării sistemelor de ecuații diferențiale și a unor elemente de matematici superioare (de exemplu, calculul operațional).

E. PERFORMANȚELE IMPUSE FUNCȚIONĂRII SRA

Pe baza răspunsului indicial al unui *SRA* se pot defini următoarele performanțe (sau indici de calitate) ce caracterizează funcționarea acestuia:

— *eroarea staționară;*
— *suprareglarea;*
— *gradul de amortizare;*
— *durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere* și *timpul primului maxim;*
— *stabilitatea.*

1. Eroarea staționară

Eroarea staționară sau abaterea staționară se notează cu ε_{st} și caracterizează precizia de funcționare a *SRA* în regim staționar. Acest indice de calitate se poate determina pentru regimul staționar care se stabilește în urma regimului tranzitoriu provocat fie de variația mărimii de intrare x_i, fie de variația unei mărimi perturbatoare X. Deoarece pentru *SRA* liniare variația perturbației X se poate „muta" la intrarea sistemului, în continuare ne vom referi numai la regimuri staționare stabilite în urma unor regimuri tranzitorii datorate variațiilor la intrarea *SRA*.

Considerînd un *SRA* liniar, cu parametri constanți, se poate defini eroarea staționară ε_{st} ca fiind:

$$\varepsilon_{st} = x_i - x_{e\,st} \tag{9.4}$$

unde $x_{e\,st}$ reprezintă valoarea staționară (sau stabilizată) a mărimii de la ieșire:

$$x_{e\,st} = \lim_{t \to \infty} x_e(t), \tag{9.5}$$

iar x_i — mărimea aplicată la intrare, care în cazul *SRA* coincide cu valoarea de consemn.

Performanța impusă erorii staționare a unui *SRA* este de forma:

$$\varepsilon_{st} \leqslant \varepsilon_{st\,imp} \tag{9.6}$$

unde $\varepsilon_{st\,imp}$ este valoarea impusă (maximă admisibilă) a erorii staționare. Mărimea erorii staționare este exprimată de obicei în procente față de valoarea staționară a mărimii de ieșire $x_{e\,st}$. De cele mai multe ori se impune $\varepsilon_{st} = 0$.

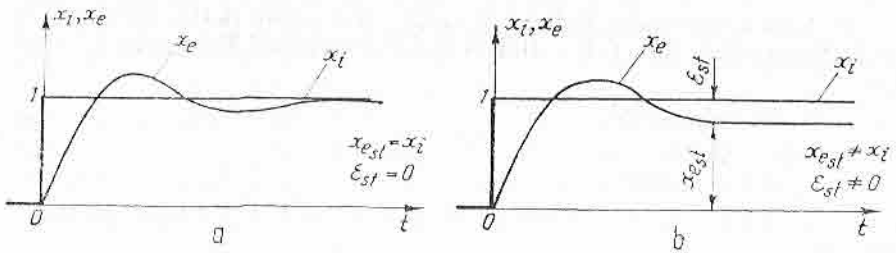


Fig. 9.10. Răspunsul unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treptată unitară, în cazul: a — $\varepsilon_{st} = 0$; b — $\varepsilon_{st} \neq 0$.

În figura 9.10, a este reprezentat răspunsul $x_e(t)$ al unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treaptă unitară, pentru cazul $\varepsilon_{st} = 0$, iar în figura 9.10, b — pentru cazul $\varepsilon_{st} \neq 0$.

Dacă se notează cu K_{AG} factorul total de amplificare al sistemului, eroarea staționară poate fi determinată prin relația:

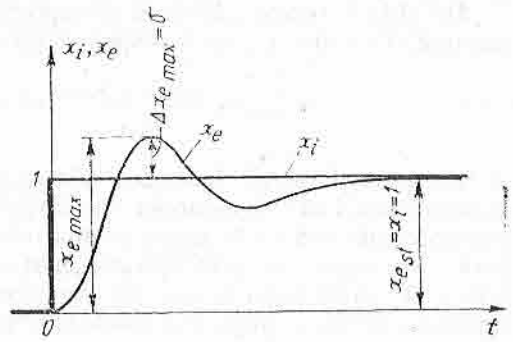


Fig. 9.11. Suprareglarea unui sistem de reglare automată.

$$\varepsilon_{st} = \frac{1}{1 + K_{AG}} \cong \frac{1}{K_{AG}}, \tag{9.7}$$

deoarece $K_{AG} \gg 1$.

Prin urmare, condiția $\varepsilon_{st} \leqslant \varepsilon_{st\,imp}$ va conduce, în conformitate cu (9.7) la o condiție de forma:

$$K_{AG} \geqslant K_{AG\,imp} \tag{9.8}$$

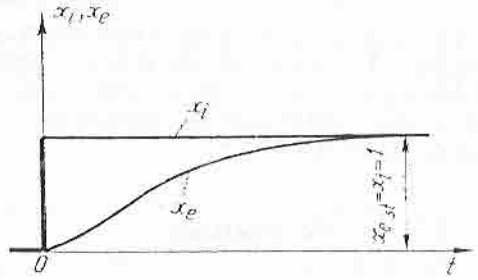


Fig. 9.12. Reglarea în regim tranzitoriu aperiodic

unde $K_{AG\,imp}$ este valoarea minimă admisibilă pentru factorul (coeficientul) de amplificare al *SRA* din punctul de vedere al performanței erorilor staționare.

2. Suprareglarea unui *SRA*

Suprareglarea σ este un indice de calitate al regimului tranzitoriu al *SRA*; ea este produsă de o variație a mărimilor de intrare x_i. Se poate spune că σ caracterizează precizia dinamică a *SRA*.

Suprareglarea σ (fig. 9.11) se definește ca depășirea maximă de către mărimea de ieșire $x_e(t)$, în decursul primei oscilații a regimului tranzitoriu, a valorii staționare $x_{e\,st}$ care se stabilește după terminarea acestui regim.

Depășirea maximă apare în prima semiperioadă a oscilației amortizate $x_e(t)$. Dacă regimul tranzitoriu este aperiodic, $\sigma = 0$ (fig. 9.12).

De obicei, suprareglarea σ se raportează la valoarea staționară a mărimii de ieșire $x_{e\,st}$ și se exprimă procentual:

$$\sigma[\%] = \frac{x_{e\,max} - x_{e\,st}}{x_{e\,st}} 100 = \frac{\Delta x_{e\,max}}{x_{e\,st}} 100. \qquad (9.9)$$

Deoarece depășirile însemnate ale valorii staționare $x_{e\,st}$ pot provoca suprasolicitări ale elementelor instalației sau ale procesului tehnologic reglat, conducînd fie la uzura prematură, fie chiar la deteriorarea acestora (de exemplu, prin străpungerea izolației ca urmare a depășirii tensiunii nominale, în instalațiile electrice), valoarea suprareglării trebuie limitată. Astfel, se impune o condiție restrictivă, exprimată de asemenea procentual:

$$\sigma[\%] \leqslant \sigma_{imp}[\%], \qquad (9.10)$$

unde $\sigma_{imp}[\%]$ reprezintă valoarea impusă (maximă admisibilă) a suprareglării, în funcție de tipul și condițiile de funcționare ale instalației tehnologice sau ale procesului reglat. De exemplu, pentru sistemele de reglare automate din energetică, valoarea lui $\sigma_{imp}[\%]$ nu trebuie să depășească 15%.

3. Gradul de amortizare

Gradul de amortizare este de asemenea un indice de calitate al regimului tranzitoriu al *SRA*.

Pentru o variație dată a mărimii de intrare $x_i(t)$, gradul de amortizare δ (fig. 9.13) reprezintă diferența dintre unitate și raportul amplitudinilor a două semioscilații succesive de același sens, ale mărimii de ieșire x_e, măsurate față de valoarea staționară $x_{e\,st}$:

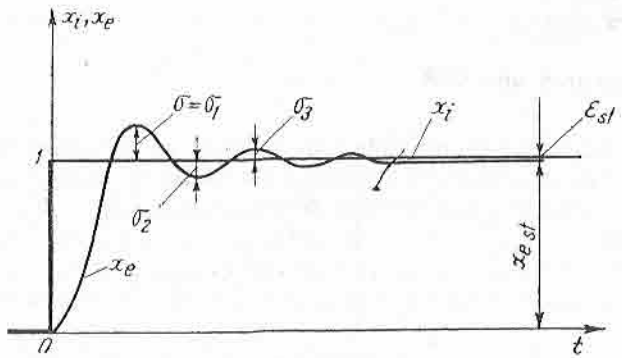


Fig. 9.13. Determinarea gradului de amortizare.

$$\delta = 1 - \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = 1 - \frac{\sigma_3}{\sigma}, \qquad (9.11)$$

unde s-a ținut seamă că $\sigma_1 = \sigma$.

Pentru δ se impune o restricție:

$$\delta \geqslant \delta_{imp}\ (\delta_{imp} \leqslant 1), \qquad (9.12)$$

unde δ_{imp} este valoarea impusă (valoarea minimă admisibilă) gradului de amortizare.

Cu cît δ este mai mare (deci mai apropiat de 1), cu atît amortizarea oscilațiilor din timpul regimului tranzitoriu este mai rapidă, deci procesul tranzitoriu al *SRA* este de mai bună calitate.

4. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere și timpul primului maxim

Acești indici de calitate caracterizează rapiditatea procesului tranzitoriu al reglării și au o deosebită însemnătate în analiza *SRA*.

● **Durata regimului tranzitoriu** t_{tr} (fig. 9.14), denumită și *timpul de răspuns* al *SRA*, reprezintă timpul măsurat de la începutul procesului tranzitoriu și pînă în momentul cînd, în valoare absolută, diferența

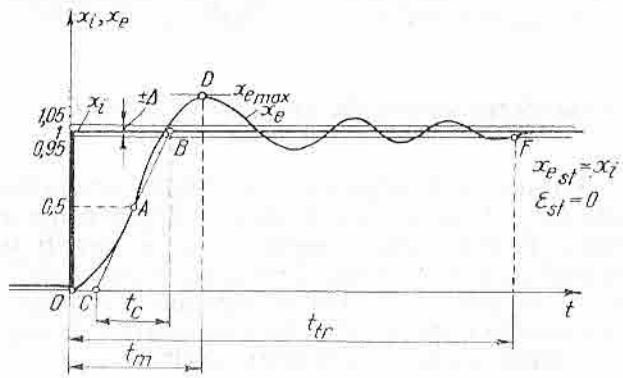


Fig. 9.14. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, timpul primului maxim și timpul primei atingeri a valorii staționare.

dintre mărimea de ieşire $x_e(t)$ şi valoarea sa staţionară a $x_{e\,st}$ scade permanent sub o limită anumită Δ:

$$|x_e - x_{e\,st}| < \Delta, \tag{9.13}$$

fără ca ulterior să depăşească această limită.

În practică, se adoptă de cele mai multe ori:

$$\Delta = 0{,}05\, x_{e\,st} = \frac{5}{100}\, x_{e\,st}. \tag{9.14}$$

Pentru ca procesul de reglare automată să se desfăşoare cu suficientă rapiditate, trebuie satisfăcută performanţa:

$$t_{tr} \leqslant t_{tr\ imp} \tag{9.15}$$

unde $t_{tr\ imp}$ este valoarea maximă admisibilă a duratei regimului tranzitoriu, impusă de specificul procesului sau de tipul instalaţiei reglate.

În figura 9.14 s-a notat şi momentul primului maxim t_m (corespunzător punctului D).

● Pentru aflarea **timpului de creştere** t_c se procedează astfel: se trasează tangenta la curba $x_e(t)$ în punctul în care are ordonata $0{,}5\, x_{e\,st}$ (în cazul de faţă punctul A, cu ordonata $0{,}5 \cdot 1 = 0{,}5$) stabilindu-se punctele de intersecţie ale acestei tangente cu axa absciselor (punctul C) şi cu orizontala dusă la distanţa $x_e = x_{e\,st}$ în paralel cu axa timpului (punctul B, deoarece $x_{e\,st} = x_i$). Pentru t_c se adoptă o valoare egală cu proiecţia pe axa timpului a segmentului de tangentă BC, cuprins între cele două puncte de intersecţie stabilite mai sus.

Timpul de creştere oferă un indiciu asupra vitezei de creştere a mărimii de la ieşire x_e, în cursul primei oscilaţii.

F. STABILITATEA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Regimul staţionar de funcţionare al unui *SRA* reprezintă acea stare a sistemului automat, caracterizată prin echilibrul reciproc al tuturor mărimilor fizice (forţe mecanice, cupluri, tensiuni, curenţi, presiuni etc.) care apar în cuprinsul elementelor *SRA* şi participă la reglare.

Pot exista o infinitate de astfel de regimuri staţionare corespunzător diferitelor valori ale perturbaţiei (sau ale mărimii de intrare), fiecare din ele reprezentînd o stare de echilibru staţionar.

Din punctul de vedere al stabilităţii se deosebesc:

— *SRA* la care se poate realiza un regim staţionar, şi care se numesc *sisteme stabile;*

— *SRA* la care mărimea de ieşire x_e are o variaţie care nu este controlată de mărimea de intrare sau sistemele de reglare la care mărimea de ieşire fie că execută oscilaţii autoîntreţinute în jurul unei valori staţionare $x_{e\,st}$, fie că se depărtează continuu de aceasta, care se numesc *sisteme instabile.*

Stabilitatea unui *SRA* reprezintă stabilitatea procesului tranzitoriu al acestuia. Pentru a vedea dacă un sistem de reglare automată este dinamic stabil, trebuie analizat răspunsul $x_e(t)$ (deci variaţia parametrului reglat) pentru o perturbaţie exterioară de valoare finită (sau o variaţie la intrarea *SRA*). Deci: un sistem de reglare automată este stabil dacă, după ce sub acţiunea unei perturbaţii exterioare oarecare îşi părăseşte starea de echilibru stabil, el tinde să revină în regim staţionar odată ce perturbaţia dispare.

Sau, altfel spus: într-un sistem stabil o perturbaţie momentană şi limitată (finită) generează un *răspuns tranzitoriu amortizat.*

În figurile 9.15, *a-e* sînt reprezentate diferitele tipuri de procese tranzitorii în *SRA* stabile şi nestabile. Procesul este descris pentru timpul $t > t_1$, (timpul t_1 — la care se manifestă variaţia la intrare sau perturbaţia).

Astfel, în figura 9.15, *a* mărimea de ieşire x_e execută cîteva oscilaţii în jurul valorii staţionare $x_{e\,st2}$ a parametrului reglat, apoi se stabileşte la această valoare. Amplitudinea oscilaţiilor se micşorează treptat, iar

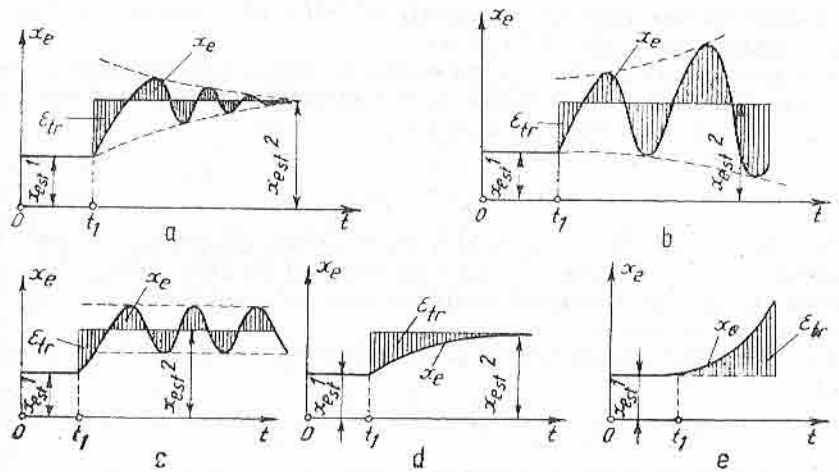


Fig. 9.15. Diferite tipuri de procese tranzitorii în *SRA*:
a — proces amortizat; *b* şi *c* — procese instabile; *d* — proces aperiodic monoton stabil; *e* — proces aperiodic monoton nestabil.

procesul tranzitoriu este amortizat. Un astfel de proces tranzitoriu se numește *proces tranzitoriu amortizat*. Deoarece eroarea tranzitorie:

$$\varepsilon_{tr} = x_e - x_{e\,st2} \tag{9.16}$$

reprezentînd valoarea erorii la un moment dat al procesului tranzitoriu tinde (în timp) către zero, sistemul caracterizat printr-un astfel de răspuns tranzitoriu este stabil.

Pentru un proces tranzitoriu de felul celui din figura 9.15, *b*, răspunsul x_e execută o serie de oscilații, cu amplitudine continuu crescătoare, în jurul valorii staționare $x_{e\,st2}$; *SRA* este în acest caz nestabil. Pentru variația răspunsului din figura 9.15, *c* *SRA* se află la limita de stabilitate (fiind deci practic instabil). Într-adevăr, în acest caz $x_e(t)$ prezintă o variație sinusoidală, cu amplitudine constantă. În figurile 9.15, *d* și *e*, sînt prezentate răspunsurile cu variație aperiodică; procesele tranzitorii de acest fel se numesc *procese tranzitorii aperiodice monotone*. În primul caz (fig. 9.15, *d*) sistemul este stabil; eroarea tranzitorie ε_{tr} tinde către zero. În cel de-al doilea caz (fig. 9.15, *e*) sistemul este instabil; eroarea tranzitorie ε_{tr} crește monoton în timp, răspunsul îndepărtîndu-se mereu de la valoarea staționară inițială $x_{e\,st1}$, fără a mai atinge o altă valoare staționară.

○ **Observație.** Se poate spune că răspunsul x_e al unui *SRA* la o perturbație exterioară finită (sau la o variație limitată a intrării) este compus din două componente:

— *o componentă liberă (sau tranzitorie)* $x_{el}(t)$, variabilă în timp, care caracterizează regimul tranzitoriu al *SRA* și generează de fapt, eroarea tranzitorie ε_{tr} (fig. 9.15, *a-e*);

— *o componentă forțată* x_{ef} constantă în timp, care caracterizează valoarea staționară a răspunsului x_e și constituie partea care rămîne din x_e, după ce, eventual, x_{el} a dispărut.

Se poate deci scrie că:

$$x_e(t) = x_{el}(t) + x_{ef}. \tag{9.17}$$

Rezultă că un *SRA* este stabil atunci cînd componenta liberă a răspunsului $x_{el}(t)$ se anulează după un interval de timp acceptabil de la momentul variației mărimii de intrare sau de la apariția unei perturbații limitate oarecare.

Astfel, condiția matematică de stabilitate a unui *SRA* se poate scrie:

$$\lim_{t\to\infty} x_e(t) = x_{ef}. \tag{9.18}$$

La sistemele instabile, componenta liberă nu se anulează și poate fi aperiodică și crescătoare sau oscilatorie, cu amplitudine constantă sau crescătoare.

Pentru un astfel de *SRA* instabil se poate scrie că:

$$\lim_{t\to\infty} x_e(t) \neq x_{ef} \tag{9.19}$$

Stabilitatea unui SRA este determinată de:
— stabilitatea proprie a obiectului reglării;
— stabilitatea regulatorului automat.

Obiectul reglării (instalația tehnologică, procesul) este în general stabil prin însăși natura sa, pentru a funcționa, sau a se desfășura normal și fără introducerea reglării automate. Din această cauză se spune că obiectul reglării se bucură de așa-numita stabilitate proprie sau autostabilitate. În ceea ce privește regulatoarele automate, ele sînt evident, în general, construite în vederea unei funcționări stabile, însă pentru anumiți parametri de acordare ele pot deveni instabile, ceea ce poate influența *SRA* în ansamblu. Din această cauză, în domeniul automatizărilor noțiunea de stabilitate, respectiv de instabilitate, se referă la ansamblul sistemului de reglare (regulator + obiectul reglării).

Există o serie de criterii (algebrice, grafice, grafoanalitice), după care se poate determina, în practică, cu suficientă precizie, stabilitatea sau instabilitatea unui *SRA*.

REZUMAT

1. *Reglarea automată* reprezintă un proces (funcție de automatizare) în care o mărime (parametrul reglat) este adusă la o valoare prescrisă (de consemn) și este menținută la această valoare prin intervenții permanente din afară, pe bază de măsuri.

2. *Perturbațiile* (sau mărimile perturbatoare) sînt influențe externe reprezentînd cauzele abaterii valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă. Perturbația se opune menținerii constante a mărimii reglate.

3. *Elementele unui SRA* sînt: obiectul reglării (instalația sau procesul reglat), regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție.

4. Se numește *sistem de reglare automată* (prescurtat *SRA*) ansamblul format din obiectul reglării, regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces.

5. *Un SRA prezintă:* o legătură directă (sau principală) și o legătură inversă (secundară, sau cale de reacție a *SRA*). Circuitul închis format cu legătură directă și legătură inversă a unui *SRA* se numește buclă de reglare.

6. Se numește *schemă funcțională* a unui *SRA* acea schemă în care se indică toate elementele componente ale *SRA*, destinația lor și legăturile funcționale între acestea.

7. *Răspunsul* $x_e(t)$ al unui *SRA pentru o variație treaptă unitară* la intrarea lui se numește răspuns indicial (sau funcție indicială). Răspunsul unui sistem de reglare automată la o variație impuls unitar la intrare se numește funcție pondere.

8. *ANALIZA SRA* reprezintă studiul funcționării unui sistem dat în sensul aprecierii cantitative și calitative a performanțelor impuse de instalația sau procesul reglat. Analiza în domeniul timpului a unui *SRA* reprezintă studierea răspunsului indicial al acestuia.

9. *Performanțele impuse* în funcționarea unui *SRA* sînt: EROAREA STAȚIONARĂ, SUPRAREGLAREA, GRADUL DE AMORTIZARE, DURATA REGIMULUI TRANZITORIU și STABILITATEA FUNCȚIONĂRII.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este reglarea automată:
   a) este acel proces prin care se comandă acționarea unui motor?
   b) este procesul în care o mărime este adusă la valoarea prescrisă și este menținută la această valoare, fără intervenția omului.
   c) este transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?
2. Ce sînt perturbațiile (sau mărimile perturbatoare):
   a) perturbațiile sînt influențe externe care determină abaterea mărimii reglate de la valoarea prescrisă: ele fac necesară reglarea?
   b) perturbațiile sînt erorile aparatelor de măsurat?
   c) perturbațiile sînt acele mărimi care trebuie menținute, prin reglare, la valori dinainte stabilite?
3. Ce reprezintă o buclă de reglare:
   a) un circuit închis, în care s-a introdus o sursă de tensiune?
   b) circuitul închis format de legătura directă și legătura inversă a unui *SRA*?
   c) legătura care înglobează elementul de comparație, regulatorul și elementul de execuție?
4. Care sînt funcțiile de intrare tip ale unui *SRA*:
   a) funcțiile de timp monoton crescătoare?
   b) funcțiile de timp derivabile în origine (la $t = 0$)?
   c) funcțiile de timp reprezentînd variațiile treaptă unitară, rampă unitară și impuls unitar?
5. Ce reprezintă „răspunsul indicial" al unui *SRA*:
   a) răspunsul pentru o variație treaptă unitară la intrarea *SRA*?
   b) răspunsul pentru o variație impuls unitar la intrarea *SRA*?
   c) variația în timp a mărimii reglate, indiferent de variația de la intrarea *SRA*?
6. Ce este funcția de transfer a unui element al *SRA*?
   a) legătura dintre mărimea de execuție și mărimea de ieșire a *SRA*?
   b) coeficientul de transfer al elementului la regim dinamic de funcționare?
   c) dependența $x_e = f(x_i, t)$ la un moment dat?
7. Care sînt principalele performanțe impuse funcționării *SRA*:
   a) eroarea staționară, suprareglarea, gradul de amortizare, durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, stabilitatea?
   b) abaterea (sau eroarea la un moment dat), amplitudinea oscilațiilor, coeficientul de transfer și perturbația?
   c) amplificarea, funcția de transfer, viteza de creștere și eroarea staționară?
8. Cînd este stabil un *SRA*:
   a) cînd mărimea de la ieșire x_e oscilează permanent în jurul unei valori staționare (sau de regim)?
   b) cînd sistemul de reglare tinde spre un nou regim staționar, odată ce acțiunea perturbației încetează?
   c) cînd componenta liberă a răspunsului se stabilește la o valoare diferită de zero?

Capitolul 10

TELEMECANICA

A. NOȚIUNI GENERALE

Industria contemporană se caracterizează prin creșterea continuă a complexității proceselor tehnologice, a rapidității cu care acestea se desfășoară, a preciziei cerute, a gradului de interdependență între diferitele verigi ale acestora.

Un operator *0* (fig. 10.1) trebuie să transmită o serie de comenzi și să primească informații (prin măsurare și semnalizare) de la obiectele comandate (*1, 2, 3* și următoarele, care nu au mai fost arătate în figură) de la același pupitru de comandă *P*.

Dacă distanța de la operator la instalațiile sau procesele care trebuie dirijate și controlate crește atît de mult încît nu mai sînt satisfăcătoare mijloacele obișnuite de conducere de la mică distanță, devin absolut necesare instalații speciale pentru învingerea acestor distanțe, capabile să asigure în mod automat transmiterea și recepționarea de date și comenzi la distanțe mari și foarte mari.

Telemecanica reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații* (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal).

Dispozitivele telemecanice *transformă informația în semnale și le transmit la distanță, pe linii de transmisie, pentru măsurarea, comanda și semnalizarea fără participarea omului sau cu participarea operatorului uman numai în anumite faze ale transmisiei informației.* De altfel, conducerea prin telemecanizare presupune, practic, o automatizare completă a instalațiilor sau proceselor conduse.

Se pot enumera destule procese de producție în care este necesară utilizarea telemecanicii. Astfel de procese sînt:

— *procesele de producție complexe*, în care diferite părți sau instalații funcționează în strînsă legătură,

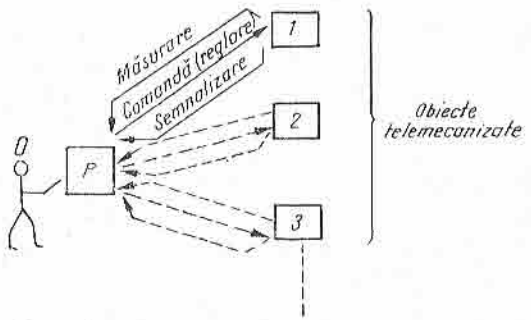


Fig. 10.1. Conducerea de la distanță prin mijloace obișnuite.

deşi sînt situate la distanţe mari între ele (cazul centralelor electrice, staţiilor de transformare şi liniilor din sistemul energetic, al sistemelor de irigaţie, al cîmpurilor de sonde şi al reţelelor de distribuţie de gaze naturale etc.);

— *procesele de producţie la care se impune conducerea de la distanţă, fie din considerente de securitate şi protecţie a muncii, fie din imposibilitatea situării omului în locul în care se desfăşoară procesul respectiv* (cazul lucrărilor de foraj la mare adîncime, controlul şi comanda funcţionării anumitor instalaţii cu temperaturi ridicate sau scăzute, în mediu radioactiv, la înaltă tensiune, supravegherea şi conducerea de la distanţă a reactorilor nucleari, a zborului rachetelor cosmice şi sateliţilor etc.);

— *procesele la care comanda de la distanţă asigură o desfăşurare mai operativă şi un grad sporit de siguranţă în funcţionare* (ca, de exemplu, automatizarea triajelor de cale ferată, controlul centralizat al circulaţiei feroviare sau rutiere, supravegherea şi dirijarea traficului aerian etc.).

Telemecanica a apărut şi s-a dezvoltat continuu pe baza progreselor realizate în automatică, electronică, radiotehnică şi telecomunicaţii, în special odată cu folosirea elementelor fără contacte (diode semiconductoare, tranzistoare, tiratroane cu catod rece, elemente feromagnetice cu ciclu de histerezis dreptunghiular).

B. FUNCŢIUNILE TELEMECANICII

Telemecanica permite realizarea următoarelor **funcţiuni:**

— *telemăsurarea*, adică transmiterea la distanţă a rezultatelor unei măsurări (de exemplu, telemăsurarea valorii tensiunii sau debitului);

— *telecomanda*, adică transmiterea la distanţă a unei comenzi (de exemplu, telecomanda pornirii sau opririi unui agregat);

— *telesemnalizarea*, adică transmiterea la distanţă a unui semnal (de exemplu, telesemnalizarea unei avarii, telesemnalizarea depăşirii unor limite, a poziţiei închis sau deschis a unui întreruptor etc.).

Sistemele de telemăsurare, telecomandă şi telesemnalizare asigură comanda totală a diferitelor instalaţii sau agregate.

Cînd instalaţia de telemecanică permite realizarea unei reglări la distanţă, se obţine o telereglare (ca de exemplu, telereglarea puterii unor centrale electrice).

În figura 10.2 este arătată principial **telemecanizarea unui sistem energetic.** Astfel, pentru asigurarea producerii şi distribuţiei raţionale a energiei electrice, deci pentru buna funcţionare a sistemului energetic,

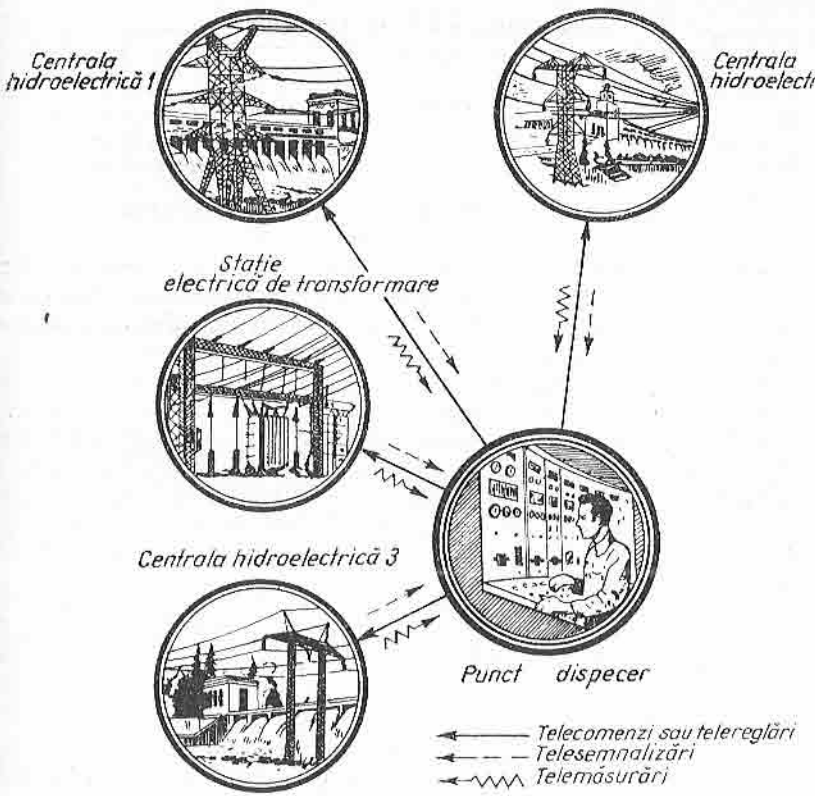


Fig. 10.2. Telemecanizarea unui sistem energetic.

este necesar să se centralizeze într-un *punct de comandă*, sau *punct dispecer*, controlul şi comanda întregului sistem.

Punctul dispecer este echipat cu instalaţii telemecanice pentru măsurarea de la distanţă a anumitor mărimi (electrice sau neelectrice) în diverse puncte ale sistemului energetic, pentru comanda de la distanţă a aparatajului şi instalaţiilor principale şi pentru semnalizarea situaţiei acestora la punctul central de comandă.

Legătura dintre punctul de comandă sau dispecer (fig. 10.3) *şi instalaţiile controlate sau comandate* prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, *printr-o linie de transmisie*. Această legătură se poate efectua fie prin conductoare electrice *(linie de telecomunicaţie prin fire* sau linie de transport de energie electrică), fie fără conductoare de legătură *(canal de telemecanică prin radio)*.

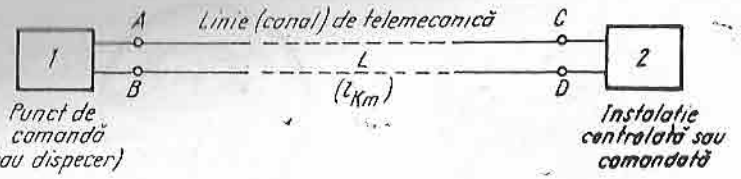


Fig. 10.3. Realizarea legăturii dispecer-obiecte telemecanizate.

La rîndul lor, liniile sau canalele de telemecanică prin fire pot fi:

— *circuite fizice propriu-zise* (de exemplu o linie bifilară, prin care trece semnalul de telemecanică, fără a fi supus la transformări intermediare pe parcursul dispecer-obiect telemecanizat);

— *canale de curenți purtători pe circuite fizice*, care asigură transmiterea concomitentă în linie a mai multor semnale sinusoidale „purtătoare", fiecare dintre acestea fiind „modulat" în amplitudine sau frecvență de semnalele telemecanice (de exemplu, semnale telemecanice care cuprind în spectru frecvențe pînă la 80 Hz modulează 24 semnale „subpurtătoare" cuprinse între 400 și 3 200 Hz; acestea modulează, la rîndul lor, o purtătoare de zeci sau sute de kiloherți, rezultînd o modulație în două trepte).

Pentru a nu se scumpi instalațiile prin construirea liniilor de transmisie între multe surse și mulți receptori, linia se folosește multiplu cu ajutorul canalelor de transmisie telemecanică. De aceea, canalele de curenți purtători (ca și canalele radio) sînt preferate și utilizarea lor s-a impus din ce în ce mai mult. Un argument în plus: curenții purtători pot fi transmiși și pe liniile de înaltă tensiune de transport și distribuție a energiei electrice, linii care sînt gata construite și se întind pe întreg cuprinsul țării.

C. STRUCTURA APARATURII DE TELEMECANICĂ

Orice sistem de telemecanică este alcătuit din cel puțin două subansamble sau terminale — cel de la postul dispecer și cel (sau cele) de la postul (sau posturile) comandat la distanță, legate între ele prin canale de telecomunicație (sau de telemecanică).

● **În cazul în care se transmite numai informația de control** (telesemnalizarea sau telemăsurarea), postul controlat reprezintă totodată postul de emisie a semnalelor, iar postul de comandă (sau dispecer) — postul de recepție. Dacă se transmite numai informația de comandă, emițătorul se află la postul de comandă (sau dispecer), iar receptorul (sau receptoarele) — la postul comandat.

● **În situația în care se prevede atît transmiterea de informații de control, cît și de informații de comandă,** ambele terminale trebuie să conțină atît emițătorul cît și receptorul de semnale telemecanice.

În funcție de modul de transmitere în timp a semnalelor telemecanice, deosebim *transmiterea permanentă a semnalelor, transmiterea periodică* sau *ciclică* și *transmiterea intermitentă în timp a semnalelor.*

Aceasta din urmă se poate efectua fie în mod *automat,* în momentul apariției unei schimbări în desfășurarea procesului tehnologic condus de la distanță (de exemplu, la apariția unei avarii), fie *la cerere,* la comanda dispecerului.

● În figura 10.4 este reprezentat **cazul general al structurii aparaturii de telemecanică.** S-a notat cu A terminalul situat la dispecer, cu $B_1, B_2, ..., B_n$ terminalele de la obiectele (sau posturile) telemecanizate și cu $C_1, C_2, ..., C_n$ — canalele de telemecanică.

Atît la dispecer cît și la posturile controlate există instalații de emisie și instalații de recepție a semnalelor. Cu toate că aparatura de telemecanică prezintă o mare diversitate și un grad de complexitate sporit, se pot distinge la structura generală a celor două terminale următoarele **blocuri funcționale** (v. fig. 10.4):

— *blocuri de conectare externă 1,* care asigură introducerea informației în aparatura de telemecanică pentru emisie (de exemplu, traductoare pentru telemăsurări, butoane pentru telecomenzi, bloc-contacte pentru telesemnalizări etc.) și pentru extragerea informației la recepție (de exemplu, relee de execuție pentru telecomenzi, sisteme de afișare pentru telemăsurări, becuri pentru telesemnalizări etc.);

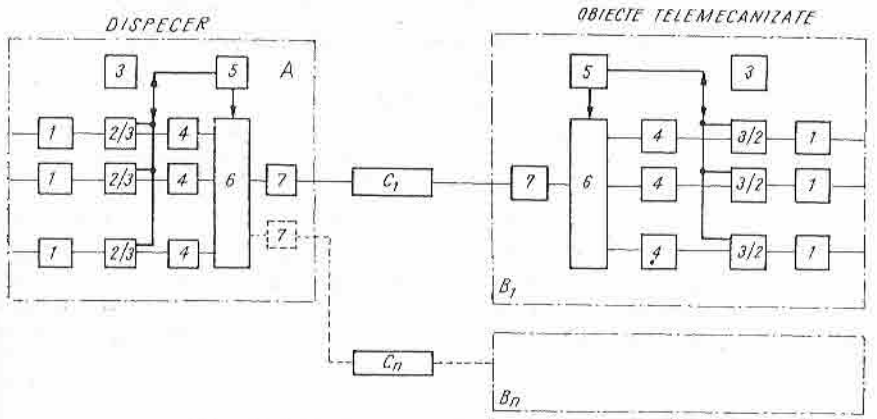


Fig. 10.4. Structura aparaturii de telemecanică.

— *blocuri de prelucrare a informației 2*, care asigură prelucrarea automată a informației obținute la ieșirea blocurilor de conectare externă, ca de exemplu convertoare de semnal, circuite logice etc.;

— *blocuri energetice 3*, care înglobează amplificatoarele și sursele de energie;

— *blocuri de memorizare 4* sau *memorii*, în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altei informații, în timpul executării unor operații de prelucrare etc.;

— *blocuri de organizare automată a funcționării 5*, care realizează — după un program dinainte stabilit — comanda diferitelor operații sau funcțiuni telemecanice, restructurarea internă la trecerea de la o funcțiune la alta și de la transmiterea unei informații la transmiterea altei informații; tot aceste blocuri mai pot îndeplini și funcțiuni de protecție, de exemplu în cazul unor regimuri anormale de funcționare sau avarii etc.;

— *blocuri de separare 6*, care permit transmiterea de informații complexe referitoare la mai multe obiecte telemecanizate sau la mai multe stări și funcțiuni ale aceluiași obiect. Blocurile de separare realizează, de exemplu, separarea în timp sau separarea în frecvență a semnalelor emise pe un circuit unic, la recepționarea lor efectuîndu-se conversia semnalelor în sens invers;

— *blocuri de cuplare internă 7*, care realizează cuplarea cu canalul de telecomunicație (C_1, C_2, ..., C_n). La punctul de emisie aceste blocuri asigură ca semnalele telemecanice să fie debitate în forma și la nivelul de putere necesar, iar la punctul de recepție asigură reconstituirea semnalelor, distorsionate în urma transmisiei, și le prezintă în forma necesară pentru prelucrarea în cadrul celorlalte blocuri funcționale din structura aparaturii de telemecanică de la postul controlat.

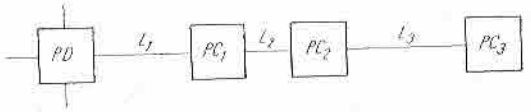
● **În funcție de modul diferit de amplasare a obiectelor telemecanizate în raport cu punctul de dispecer,** structura rețelei de canale de telecomunicație variază. **Se deosebesc** astfel:

— *structuri telemecanice cu obiecte concentrate* (fig. 10.5), în cazul în care obiectele (sau posturile) controlate *PC* sînt amplasate teritorial la mică distanță de postul de dispecer *PD*, astfel încît se poate utiliza o aparatură telemecanică unică, cu două terminale (de exemplu, telemecanizarea instalațiilor din centrale electrice, stații de transformare etc.);

— *structuri telemecanice cu obiecte dispersate*, în cazul în care distanțele între posturile controlate sau comandate sînt mari și necesită legături telemecanice distincte cu postul de dispecer. După modul de amplasare

Fig. 10.5. Structură telemecanică cu obiecte concentrate.

Fig. 10.6. Structură telemecanică cu obiecte dispersate liniar.



a obiectelor telemecanizate se disting: structuri telemecanice *cu obiecte dispersate liniar* (fig. 10.6), *cu obiecte dispersate arborescent* (fig. 10.7) și *cu obiecte dispersate radial* (fig. 10.8).

Structurile telemecanice cu obiecte dispersate se întîlnesc frecvent (cazul cîmpurilor de sonde telemecanizate, a rețelelor de irigații, de transport și distribuție a gazelor naturale, telemecanizarea transporturilor feroviare etc.).

În cazul cel mai complex, sistemele telemecanice pot avea *puncte de dispecer ierarhizate* (în trepte), ca în figura 10.9. Se observă că există un punct de dispecer central (sau național, în cazul sistemului energetic) PD_1,

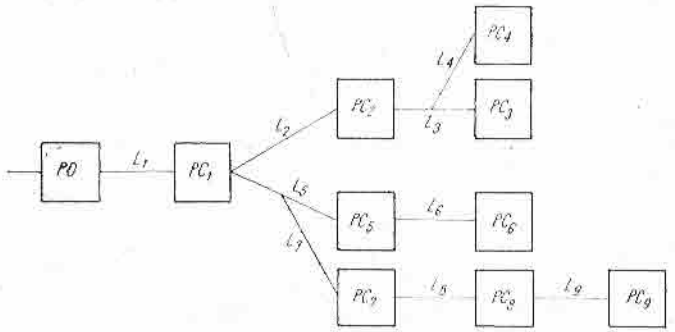


Fig. 10.7. Structură telemecanică cu obiecte dispersate arborescent.

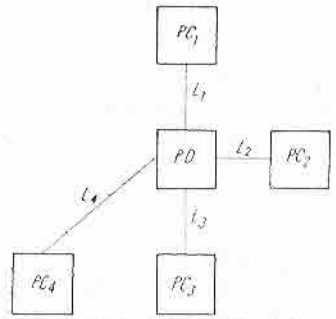


Fig. 10.8. Structură telemecanică cu obiecte dispersate radial.

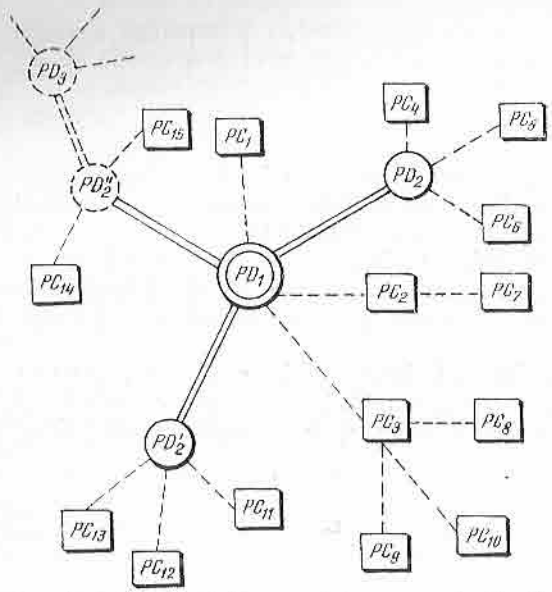


Fig. 10.9. Structură telemecanică cu puncte de dispecer ierarhizate (în trepte).

în subordinea căruia se află punctele de dispecer regional PD_2' PD_2'', etc., care conduc punctele comandate (sau controlate) PC. Punctul de dispecer central mai poate avea în „conducere operativă" și unele obiecte comandate cu importanță deosebită (de exemplu, PC_1, PC_2 și PC_3, în, fig. 10.9).

D. TELEMĂSURAREA

1. Noțiuni generale

Aparatele obișnuite de măsurat nu permit transmiterea rezultatelor măsurării la mari distanțe, fără intervenția unor dispozitive și instalații speciale. Pentru telemăsurarea unei anumite mărimi fizice (curent, tensiune, debit, presiune, nivel, temperatură etc.), este necesar ca mărimea măsurată să fie convertită într-o mărime auxiliară, de obicei curent sau tensiune, apță de a fi transmisă la distanță prin linia de telecomunicație care leagă punctul unde se execută măsurarea cu locul unde trebuie transmisă valoarea măsurată. La celălalt capăt al liniei de telecomunicație, această mărime auxiliară este din nou convertită în indicații ale unui aparat de măsurat. Valorile curentului sau tensiunii transmise prin linie sînt foarte mici (cîțiva miliamperi, respectiv cîțiva volți). Pentru a se evita influența inductanței și capacității liniei de telecomunicații parcurse de un curent alternativ, de obicei indicațiile aparatelor de măsurat se transmit la distanță cu ajutorul curentului sau tensiunii continue.

În figura 10.10 este reprezentată *schema elementelor unui sistem de telemăsurare*. Mărimea x măsurată de aparatul primar de măsurat AP se convertește într-o mărime auxiliară y_1 (curent sau tensiune continuă), de către un dispozitiv convertor-emițător, numit uneori, simplu, emițător și apoi este transmisă prin linia de telecomunicație L.

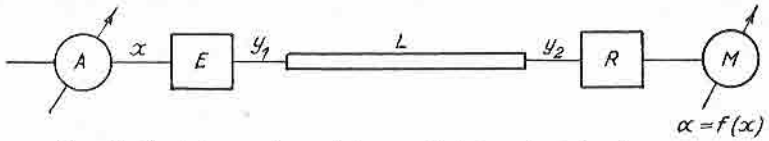


Fig. 10.10. Schema elementelor unui sistem de telemăsurare.

Datorită transmiterii de-a lungul liniei L, valoarea mărimii auxiliare y_1 este întrucîtva modificată, la capătul opus al liniei rezultînd o mărime y_2; diferența $\Delta y = y_1 - y_2$ reprezintă eroarea de linie ε_L a telemăsurării. La punctul de recepție se produce o nouă convertire, prin intermediul unui dispozitiv convertor-receptor, mărimea y_2 fiind transformată în deviația $\alpha = f(y_2)$ a unui aparat secundar de măsurat AS.

● **După distanța de acționare sistemele de telemăsurare se împart în:**

— *sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mici* (pînă la 20 km). La aceste sisteme, în funcție de valoarea mărimii măsurate, variază intensitatea sau amplitudinea curentului transmis prin linia de telecomunicație sau variază în mod corespunzător tensiunea prin linie. De aceea, sistemele de acest fel se numesc și *sisteme de intensitate* sau *sisteme de amplitudine*;

— *sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari* (peste 20 km). La aceste sisteme, în funcție de variațiile mărimii x se modifică în mod corespunzător caracteristicile unor impulsuri electrice transmise prin linie (sisteme cu impulsuri), sau frecvența unui curent alternativ care circulă prin linia de telecomunicație (sisteme de frecvență).

● **După modul de obținere a informației** *(mesajului)* **de telemăsurare,** aceasta poate fi *telemăsurare continuă* (pentru acei parametri cu variație rapidă, asupra cărora este necesară o informare continuă) sau *telemăsurare la cerere* (pentru acei parametri cu variație lentă sau relativ lentă ale căror valori telemăsurate se obțin „la cerere", în anumite momente — de exemplu, temperatura unui fluid).

Telemăsurarea continuă se poate realiza cu un circuit individual, ca în figura 10.3, în cazul distanțelor reduse și al unui număr mic de telemăsurări, sau cu un dispozitiv de telemăsurare ciclică, în cazul distanțelor mari și al unui număr mare de telemăsurări. Datorită utilizării unor distribuitoare (fig. 10.11), telemăsurarea ciclică face posibilă transmiterea simultană a n mărimi $(x_1, x_2 \dots x_n)$ de la aparatele de măsurat primare A_1, $A_2 \dots A_n$, prin intermediul emițătoarelor individuale E_1, $E_2 \dots E_n$ și al receptoarelor R_1, $R_2 \dots R_n$, la aparatele indicatoare M_1, $M_2 \dots M_n$, folosind o singură linie de telecomunicații L. Distribuitoarele D_E și D_R sînt de tip electronic și se deplasează cu viteză mare

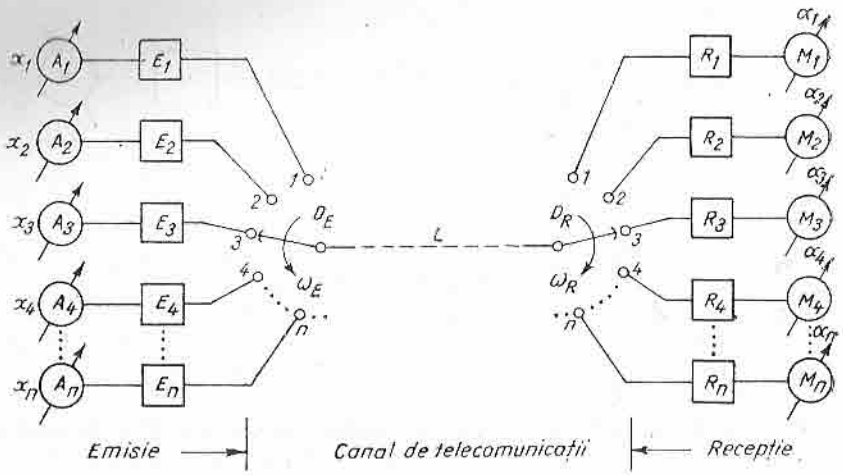


Fig. 10.11. Distribuitoare rotative pentru telemăsurare ciclică.

pe sistemul de ploturi (1, 2 ... n), în mod sincron ($\omega_E = \omega_R$) și sinfazat (adică, D_E și D_R se află simultan pe același plot *3*, ca în fig. 10.11).

În cazul *telemăsurării la cerere*, se pot folosi și distribuitoare electromagnetice (cu inerție și cu viteză de deplasare mai mică).

2. Sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari

Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari au o largă utilizare. După cum s-a arătat mai sus, aceste sisteme se realizează fie *ca sisteme cu impulsuri*, fie *ca sisteme de frecvență*.

Parametrii impulsurilor care se pot modifica sub acțiunea unui mesaj sînt: polaritatea, amplitudinea, durata, poziția, frecvența. Astfel, la sistemele cu impulsuri, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza: pe *numărul impulsurilor* (fig. 10.12), pe *durata impulsurilor* (fig. 10.13), pe *frecvența impulsurilor* (fig. 10.14) sau pe *o anumită codificare a impulsurilor* (fig. 10.15).

● În figura 10.16 este pezentată schema unui **dispozitiv bazat pe numărul de impulsuri, pentru telemăsurarea nivelului unui lichid.** La acest sistem, fiecărei valori a mărimii măsurate îi corespunde un număr de impulsuri de curent continuu transmise prin linia de telecomunicație. Cînd nivelul lichidului variază, plutitorul se ridică sau coboară și cablul *2* rotește scripetele *3* cu un anumit unghi, proporțional cu variația de nivel. Odată cu scripetele se învîrtește și roata dințată *4*.

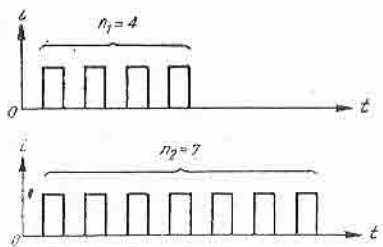


Fig. 10.12. Sisteme bazate pe numărul impulsurilor.

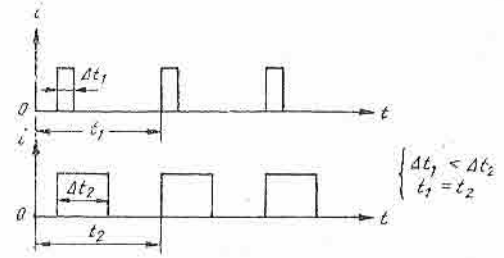


Fig. 10.13. Sisteme bazate pe durata impulsurilor.

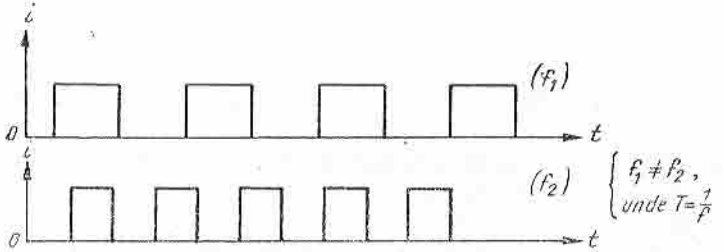


Fig. 10.14. Sisteme bazate pe frecvența impulsurilor.

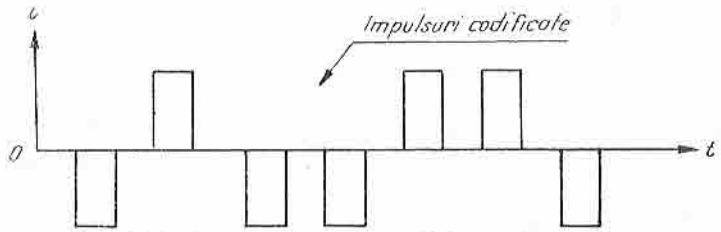


Fig. 10.15. Sisteme bazate pe codificarea impulsurilor.

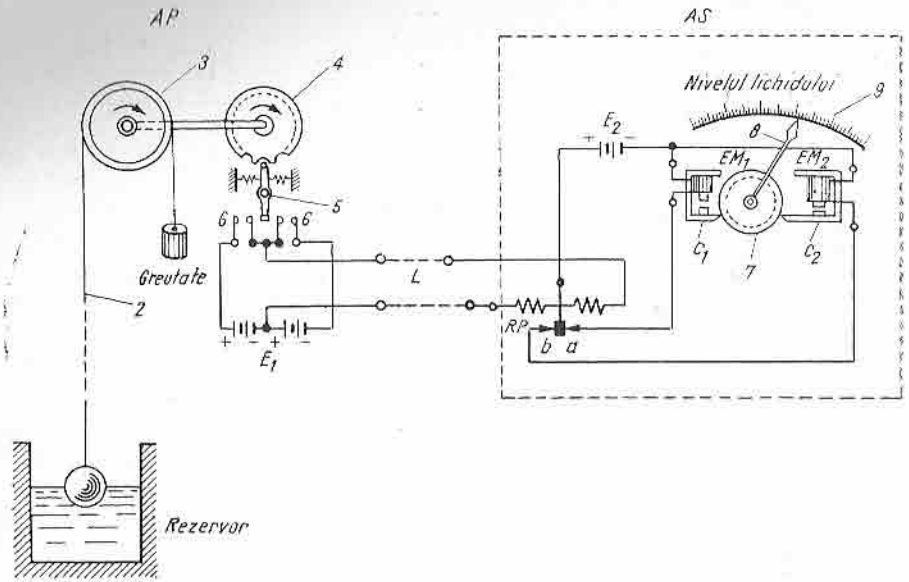


Fig. 10.16. Schemă pentru telemăsurarea nivelului unui lichid.

Fiecare dinte al roții *4* antrenează pîrghia de contact *5*; aceasta execută o deplasare la dreapta sau la stînga poziției de echilibru și se închide unul sau altul din contactele *6*, în funcție de sensul de rotație al scripetelui *3*. Dacă, de exemplu, nivelul lichidului din rezervor crește, scripetele se rotește în sensul acelor de ceasornic și pîrghia *5* închide contactul din dreapta, determinînd transmiterea unui impuls pozitiv de curent, de la sursa E_1, prin linia *L*.

Impulsul pozitiv excită bobina releului polarizat *RP* care închide contactul *a*, prin care se aplică tensiunea bateriei E_2 la bobina electromagnetului din stînga, EM_1. Odată cu atragerea armăturii electromagnetului, clichetul c_1 va deplasa roata cu clichet *7* și acul indicator *8* cu o diviziune spre partea dreaptă a scalei *9*, gradată în unități de nivel. Dacă nivelul scade, pîrghia *5* închide contactul *6* din stînga; prin linia *L* va fi trimis un impuls de curent negativ, care va determina închiderea contactului *b* al lui *RP*, conectarea electromagnetului EM_2 și deplasarea indicatorului cu o diviziune spre stînga scalei *9*.

La o variație însemnată a nivelului apei în rezervor, dispozitivul va transmite prin linie mai multe impulsuri de curent, pozitive sau negative, care vor deplasa acul indicator cu un număr corespunzător de diviziuni.

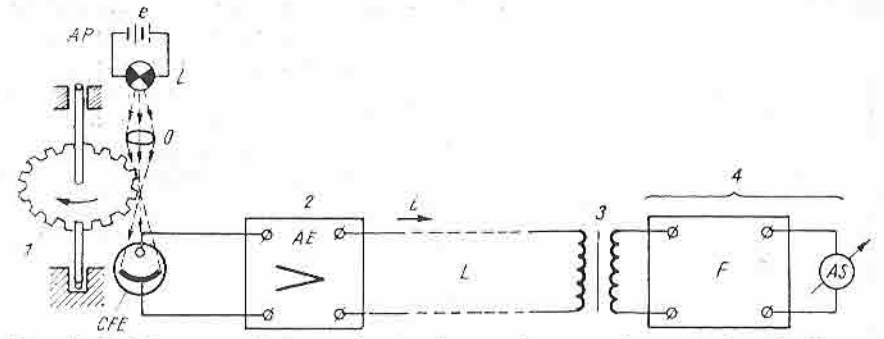


Fig. 10.17. Schema unui sistem de telemăsurare bazat pe frecvența impulsurilor.

Sistemul acesta prezintă dezavantajul că în cazul unui deranjament pe linie aparatul secundar de măsurat va indica mereu același nivel; la lichidarea unui deranjament trecător, indicația aparatului secundar diferă de valoarea corectă a nivelului printr-o eroare corespunzătoare numărului de impulsuri care s-au pierdut în timpul întreruperii legăturii.

● **Sistemele de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor** folosesc transmiterea prin linia de telecomunicație a unor impulsuri de curent a căror frecvență depinde de mărimea măsurată; amplitudinea impulsurilor nu influențează indicațiile aparatelor secundare de măsurat de la punctele de recepție. Emițătorul unui asemenea sistem folosește mecanismul unui contor electric de inducție (fig. 10.17), pe discul căruia sînt făcute o serie de crestături periferice. Fluxul luminos dat de lampa *L* este focalizat de lentila *O* asupra unei celule fotoelectrice *CFE*; în calea fluxului luminos este plasat discul crestat *1* al mecanismului de inducție. Se observă că fluxul luminos este întrerupt de fiecare dinte al discului și poate cădea asupra celulei fotoelectrice, numai atunci cînd în dreptul lui se găsește un gol dintre doi dinți ai discului în rotație.

Cînd celula fotoelectrică *CFE* este iluminată, se produce un curent care — după ce este amplificat de amplificatorul electronic *2* — se transmite prin linia *L*, spre receptor. Fluxul luminos care cade pe *CFE* este pulsatoriu, frecvența pulsațiilor depinzînd de numărul de dinți ai discului și de viteza lui de rotație. Deoarece viteza de rotație a discului crestat este proporțională cu mărimea măsurată (o putere, un curent sau o tensiune), frecvența luminii pulsatorii deci și frecvența impulsurilor transmise prin linia *L*, vor fi proporționale cu valoarea mărimii măsurate.

La capătul opus al liniei de telecomunicație se află un dispozitiv receptor, realizat de obicei sub forma unui frecvențmetru electronic cu condensator *4*, al cărui mod de funcționare este arătat principial în

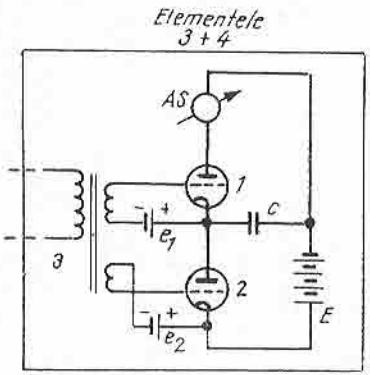


Fig. 10.18. Frecvenţmetru electronic.

figura 10.18. Impulsurile de curent din linia de telecomunicaţie se aplică unui transformator *3*, cu două bobinaje secundare la bornele cărora se obţin tensiunile U_1 şi U_2. În transformatorul *3*, impulsurile de curent sînt transformate în curent alternativ (dar nesinusoidal) cu pulsuri pozitive şi negative.

În semiperioada pozitivă, cînd pulsurile pozitive se aplică bornei polarizate (marcate cu *) a transformatorului *3*, în bobinajele secundare se obţin tensiunile U_1 şi U_2, cu polaritatea arătată în figura 10.18. Tensiunea U_1 polarizează direct joncţiunea emitor-bază a tranzistorului *1* şi acesta va conduce, făcînd ca un curent I_1, dat de sursa E, să încarce condensatorul C.

Simultan, tensiunea U_2 polarizează invers joncţiunea emitor-bază a tranzistorului *2* şi îl blochează. În semiperioada negativă se inversează polaritatea tensiunilor din primarul şi secundarul transformatorului *3*. Ca urmare, tranzistorul *1* va fi blocat şi tranzistorul *2* va conduce, permiţînd condensatorului C să se descarce. În circuitul colectorului tranzistorului *2* se produc impulsuri de curent continuu, de amplitudine şi durată constantă (determinate de parametrii condensatorului şi ai tranzistoarelor), însă de frecvenţa dată de emiţător (deci proporţională cu mărimea măsurată). Aparatul de măsurat AS (ampermetru) va indica valoarea medie a acestor impulsuri, reprezentînd un curent I_2 proporţional cu frecvenţa, deci cu valoarea mărimii măsurate.

E. TELECOMANDA

Datorită căderii de tensiune în conductoarele de legătură precum şi pierderilor prin disiparea de energie calorică, comanda locală prin cabluri de la pupitrul de comandă la obiectul comandat dă rezultate numai la distanţe mici, care nu depăşesc cîteva sute de metri. Pentru distanţe mari se foloseşte telecomanda.

Instalaţiile de telecomandă (cumulate de obicei cu cele de telesemnalizare) cu care sînt prevăzute punctele de dispecer, servesc atît pentru comandarea de la distanţă a anumitor instalaţii principale, cît şi pentru controlul îndeplinirii comenzilor, prin semnalizările recepţionate la punctul de dispecer asupra situaţiei instalaţiilor principale din sistem.

● În figura 10.19 este reprezentat schematic **echipamentul dispozitivelor de telecomandă-telesemnalizare** instalat la punctul de comandă

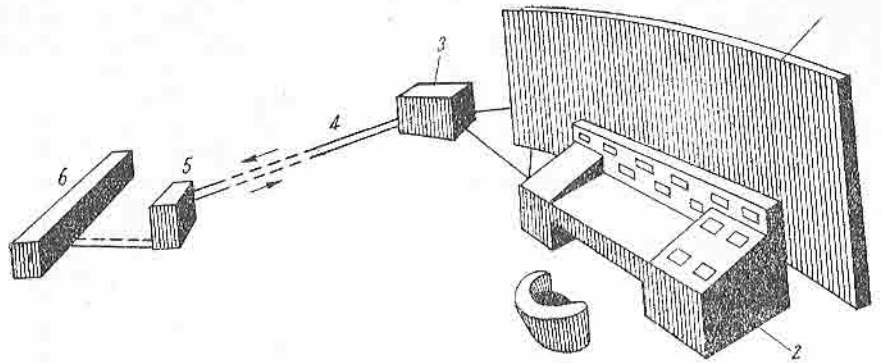


Fig. 10.19. Echipamentul de telecomandă-telesemnalizare pentru telemecanizarea unui sistem energetic.

(dispecer) şi la obiectul comandat, **în cadrul unui sistem energetic.** La punctul dispecer se găsesc: panoul *1* (cu schema sistemului comandat), pupitrul de comandă *2* şi dulapurile *3* cu aparatajul de telecomandă şi telesemnalizare.

Punctul dispecer este legat de obiectul comandat prin linia de telecomunicaţii *4*. La obiectul telemecanizat se găsesc: dulapurile *5*, cu aparatajul de telecomandă şi telesemnalizare, precum şi echipamentul telemecanizat *6*.

Pentru ca prin o singură linie de telecomunicaţie să fie telecomandate mai multe instalaţii (obiecte), se montează dispozitive de selecţie, care au rolul de a alege (selecta) semnalele primite prin linie şi de a le repartiza cu precizie instalaţiilor cărora le sînt destinate.

În figura 10.20 este reprezentată schema unui dispozitiv de selecţie cu distribuitoare electromagnetice rotative *. Cele două distribuitoare rotative, D_1 şi D_2, se rotesc cu aceeaşi viteză şi în acelaşi moment periile lor se găsesc pe aceleaşi contacte (*0, 1, 2 ...*). La punctul dispecer PD sînt instalate butoanele de comandă B_1, B_2, ..., iar la instalaţia telemecanizată se găsesc releele electromagnetice RE_1, RE_2 ... şi obiectele telecomandate O_1, O_2 ... (de exemplu, motoare electrice, întreruptoare electrice etc.). O singură linie de telecomunicaţie, alcătuită din conductoarele L_1 şi L_2 stabileşte legătura punctului de dispecer cu instalaţia telemecanizată.

Se presupune că O_2 reprezintă un motor electric. Pentru pornirea acestui motor este suficient ca operatorul aflat la punctul de dispecer să apese butonul B_2. În acest fel, atunci cînd periile distribuitoarelor rotative D_1 şi D_2 vor „călca" pe contactul *2*, se va stabili un circuit electric prin bobina releului electromagnetic RE_2 şi acesta va comanda

* similar dispozitivului de telemăsurare la cerere (fig. 10.11)

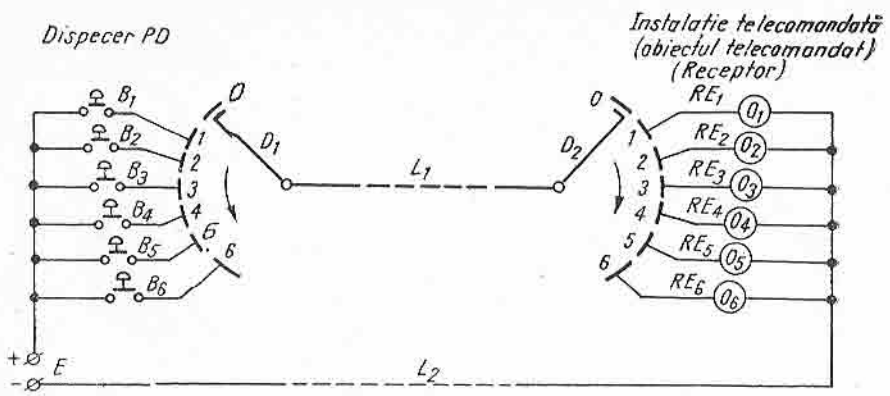


Fig. 10.20. Schema dispozitivului de selecție cu distribuitoare rotative.

printr-un contactor pornirea motorului O_2. Semnalul transmis de la punctul de dispecer este distribuit numai obiectului căruia îi era destinat (în cazul de față O_2), deoarece la apăsarea butonului B_2, nici un alt circuit alimentat de bateria E nu se poate închide.

Numărul de obiecte care pot fi telecomandate coincide cu numărul contactelor cu care sînt prevăzute cele două distribuitoare rotative. Schema prezentată se mai numește *schemă de telecomandă-telesemnalizare cu alegere.*

În instalațiile telemecanizate se utilizează pentru selecția (sau alegerea) semnalelor diverse tipuri de distribuitoare (v. cap. 5).

● Pentru telecomandă-telesemnalizare se mai folosesc **dispozitive speciale cu codificarea semnalelor.** Modulația de impulsuri în cod corespunde cuantificării în timp și în amplitudine a mesajului informațional și transmisiei fiecărei valori discrete cu ajutorul unui cod. La punctul de dispecer se efectuează codificarea semnalelor transmise prin linie, iar la punctul de recepție de la capătul opus al liniei se face decodificarea acestora, pentru a se recăpăta semnalele inițiale.

În ultima vreme au căpătat o răspîndire largă dispozitivele de codificare *cu disc de codificare* (fig. 10.21).

Discul de codificare poartă o serie de lame, unele din ele conductoare și altele izolante. De-a lungul unei raze se obține o succesiune anumită de porțiuni conductoare și izolante.

Citirea codului se face cu un șir de perechi de perii dispuse radial, care sînt conectate succesiv în circuitul de formare a semnalului, cu ajutorul unui distribuitor.

Cînd o pereche de perii se află în contact cu o porțiune conductoare, circuitul este stabilit și se transmite un semnal (de exemplu, cifra 1). Dacă periile calcă pe o porțiune izolantă din disc, circuitul este întrerupt și

nu se transmite semnal (sau „se transmite" cifra 0). Pentru fiecare poziție a discului rezultă o anumită „combinație de cod" (de exemplu, combinări ale numerelor 1 și 0), care va fi asociată unui disc de codificare cu cinci semne (avînd 32 de poziții posibile ale razei). În figura 10.22 este reprezentată desfășurarea liniară a unui asemenea disc de codificare. Alte dispozitive de codificare utilizează discuri rotative, perforate după un anumit model (sau cod), care se interpun în calea razelor dirijate spre un grup de fotocelule sau de fotodiode.

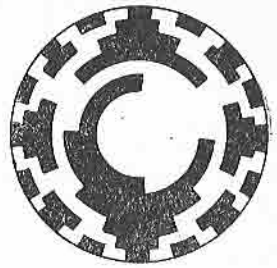


Fig. 10.21. Disc de codificare.

În acest mod, vor fi impresionate de lumină numai fotocelulele (sau fotodiodele) aflate în dreptul porțiunilor perforate ale discului rotativ.

Totodată, în ultimii ani au fost realizate **instalații telemecanice electronice, cu comutație statică.** La construcția echipamentelor moderne de telemecanizare sînt folosite tot mai mult dispozitivele cu tranzistoare și cu miezuri de ferită, cu distribuitoare electronice (cu fascicul liniar sau radial) și cu semiconductoare, circuite integrate etc.

În țara noastră, Întreprinderea pentru raționalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (ICEMENERG) și IEA-București fabrică elemente și instalații de telemecanizare realizate cu elemente statice.

Astfel, se pot cita: *echipamentul pentru automatizarea și telemecanizarea centralelor hidroelectrice* — de pildă, din hidrocentrala Stejarul (Bicaz) se conduc prin telemecanizare alte 11 obiective energetice din „aval Bistrița" (centralele hidroelectrice Pîngărați, Vaduri, Roznov ș.a.); echipamentul cuprinde: dispozitive pentru convertirea, memorizarea și repartizarea automată a consemnului de putere activă sau reactivă, dispozitive pentru reglarea automată a deschiderii vanelor, pentru reglarea automată a excitației generatoarelor, pentru reglarea automată a nivelului în bazinele de liniștire, pentru pornirea sau oprirea automată a turbinelor etc.); *echipamentele de telemecanică cu elemente statice* „variantele: „TESECIC" — pentru telesemnalizare ciclică. „TELECIN" — pentru telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică. „TELESTAT" — pentru telecomandă la cerere, telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică, „TELEMARC" — pentru telecomandă, telesemnalizare, relemăsurare și telereglare numerică); *diverse echipamente de telemecanică cu circuite integrate* etc.

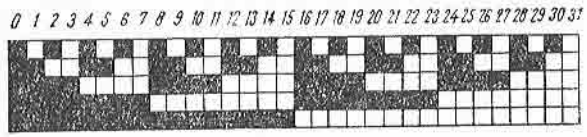


Fig. 10.22. Desfășurarea liniară a unui disc de codificare.

În realizarea aparaturii de telemecanică se ridică o serie de probleme, diferite în funcție de destinația aparaturii respective dar de a căror rezolvare depinde esențial soluția tehnică adoptată și eficiența instalației proiectate și realizată. Dintre acestea se vor aminti în continuare cele mai importante.

● **Problema stabilității la perturbații.** În unele cazuri, perturbațiile din canalul de telecomunicație pot să fie foarte puternice și intense, deformînd semnalul de telemecanică. De aceea, la recepționarea semnalelor trebuie să se ia măsuri speciale pentru a se distinge semnalul util din semnalul total recepționat (compus din semnalul util și perturbații).

Se evită totodată posibilitatea ca un anumit semnal de telemecanică, transmis de la punctul de comandă, să fie transformat sub acțiunea perturbațiilor într-un alt semnal, executîndu-se o altă comandă decît cea transmisă sau înregistrîndu-se pe aparatele de măsurat și înregistrat o altă valoare decît cea transmisă de la obiectul telemecanizat.

În unele sisteme de telemecanică, de fabricație modernă, semnalul odată transmis este memorizat la postul de recepție și, fără a fi executată comanda, este retransmis înapoi la postul care l-a emis. Acolo, acesta este comparat cu semnalul inițial și, în cazul în care nu se constată o deformare sensibilă a semnalului, se transmite automat un ordin de acceptare a execuției comenzii date. În cazurile în care semnalul a fost perturbat și este deformat sensibil, se emite un ordin de blocare a execuției comenzii date anterior, care anulează memorizarea și ciclul de funcționare se reia de la început.

● **Problema fiabilității (siguranței de funcționare).** Se cere tot mai mult ca aparatura de telemecanică să fie sigură în funcționare, să se defecteze cît mai rar posibil.

În cazul defectării aparaturii de telemecanică, aceasta trebuie să permită o localizare rapidă a defectului și o remediere care să poată fi efectuată de către personalul de întreținere, în cele mai multe situații.

Pentru ca defectarea aparaturii de telemecanică de la unul din terminale să nu provoace transformarea comenzilor în comenzi false, se procedează la blocarea automată a instalației, avertizarea postului de dispecer și — uneori — la conectarea automată a unei instalații de rezervă, în stare de funcționare.

● **Problema economicității aparaturii de telemecanică.** Fără a se renunța la nivelul tehnic, la precizia și siguranța aparaturii de telemecanică, se urmărește asigurarea unui cost redus prin economia de canale de telemecanică care trebuie realizate, prin evitarea rezervelor care nu sînt absolut necesare, prin raționalizarea schemelor adoptate etc.

REZUMAT

1. *Telemecanica* reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal). Ea este acea ramură a științei și tehnicii care se ocupă cu metodele și mijloacele tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între mai multe instalații tehnologice în interdependență funcțională și un punct de conducere (sau dispecer) al sistemului în ansamblu.

2. Telemecanica permite realizarea următoarelor *funcțiuni:* telemăsurarea, telecomanda, telesemnalizarea și telereglarea.

3. *Legătura dintre punctul de comandă (sau dispecer) și instalațiile* (obiectele) *controlate sau comandate* prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie (numită și canal de telemecanică), fie prin conductoare electrice, fie prin radio.

4. *Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari* se realizează fie ca sisteme cu impulsuri, fie ca sisteme de frecvență.

5. *La sistemele cu impulsuri*, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza pe numărul impulsurilor, pe durata impulsurilor, pe frecvența impulsurilor sau pe o anumită codificare a impulsurilor. Sistemele de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor folosesc transmiterea prin linia de telecomunicații a unor impulsuri de curent a căror frecvență depinde de mărimea măsurată.

6. Principalele *cerințe impuse aparaturii de telemecanică* sînt: stabilitatea la perturbații, fiabilitatea instalațiilor (siguranța de funcționare) și economicitatea sa.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este telesemnalizarea:
   a) transmiterea la distanță a unei comenzi?
   b) transmiterea la distanță a unei informații calitative?
   c) transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?
2. Cum se realizează legătura între postul de comandă (sau dispecer) și posturile telemecanizate:
   a) pe cale electrică, printr-o linie de telecomunicație (cu fir sau prin radio)?
   b) prin cuplaj magnetic?
3. Ce sînt blocurile de memorizare (sau memoriile) din structura unui terminal de telemecanică.
   a) sînt blocurile care înglobează sursele de putere și amplificatoarele?
   b) sînt blocurile care comandă diferitele operații sau funcțiuni telemecanice, precum și ordinea în care se execută acestea?
   c) sînt blocurile în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altei informații, în timpul prelucrării altor semnale etc.?
4. Telemăsurarea ciclică reprezintă:
   a) o măsurare continuă?
   b) o măsurare discontinuă?
   c) o măsurare la cerere?

Partea a treia

FOLOSIREA CALCULATOARELOR ÎN AUTOMATIZĂRI

Capitolul 11

CALCULATOARE ELECTRONICE

A. CONSIDERAȚII GENERALE

După cum s-a mai arătat (cap. 1), cea mai înaltă formă de organizare a producției este conducerea prin calculator sau automatizarea complexă a proceselor de producție. Calculatoarele electronice, care efectuează o serie de operații aritmetice și logice pe baza unor „informații" primite și a unui „program" de calcul stabilit, se clasifică în două categorii structural diferite: *calculatoare analogice și calculatoare numerice sau cifrice (digitale)*.

În ceea ce privește destinația și implicit structura lor constructivă, calculatoarele se împart în două categorii principale: *universale* și *specializate*, sau *de proces*.

● **Calculatoarele universale** permit rezolvarea unui număr variat de probleme din cele mai diverse domenii (matematică, economie, cercetare, gestiune etc.), programele acestora schimbîndu-se de la caz la caz.

● **Calculatoarele specializate (de proces)** sînt construite în mod special pentru a fi adaptate unui anumit proces tehnologic automatizat (v. fig. 1.4, *e*), avînd o structură adecvată și un program de calcul valabil pentru un timp mai îndelungat.

Indiferent de tipul său, un calculator este caracterizat printr-o serie de mărimi specifice ca viteză de lucru (număr de operații pe secundă), capacitatea memoriei, suportul fizic al informației (benzi, cartele etc.), modul de afișare al rezultatelor etc.

B. CALCULATOARE ANALOGICE

Calculatoarele analogice se caracterizează prin faptul că *valorile tuturor mărimilor prelucrate sînt reprezentate în calculator* (la o scară dată) *de mărimi electrice concrete* (curent, tensiune) *care variază continuu adică*

pot lua o infinitate de valori (mărimi analogice). Calculatoarele analogice au o utilizare redusă și ele au apărut ca urmare a dezvoltării metodei modelării, bazată pe legile de similitudine a fenomenelor fizice diferite prin natura lor.

De exemplu, un calcul aritmetic de împărțire a două numere poate fi realizat folosind legea lui Ohm. Astfel, considerînd o tensiune egală cu valoarea deîmpărțitului aplicată unei rezistențe de valoarea împărțitorului, curentul obținut va reprezenta valoarea cîtului.

● În structura calculatoarelor analogice sînt utilizate o serie de elemente specifice, numite **amplificatoare operaționale,** care prezintă la ieșire o mărime ce depinde de valorile mărimilor de la intrare asupra cărora s-a efectuat o anumită „operație" (sumă, diferență, produs, raport etc.).

Amplificatorul operațional reprezintă un *amplificator de curent continuu cu un coeficient de amplificare negativ și de valoare absolută foarte mare* (10^4 ... 10^8), *realizat cu circuite electronice convenționale* (diode, tranzistoare etc.) *sau integrate și care este capabil să efectueze în diverse montaje anumite operații matematice simple.*

Amplificatorul operațional, a cărui schemă simbolică este prezentată în figura 11.1, asigură o anumită relație de dependență între tensiunea de ieșire U_2 și cea de intrare U_1:

$$U_2 = f(U_1), \tag{11.1}$$

diversele funcții pe care le poate realiza acesta obținîndu-se prin introducerea unei reacții negative puternice, cu ajutorul unei impedanțe conectate între ieșire și intrare, fapt care asigură o stabilitate și o precizie bună.

În tabelul 11.1 se prezintă cîteva tipuri de elemente obținute cu ajutorul amplificatoarelor operaționale, schema lor, simbolul lor grafic, precum și relația matematică („operația") pe care o efectuează.

○ **Observație.** Tensiunea de ieșire din amplificatorul operațional are sens opus celei de intrare.

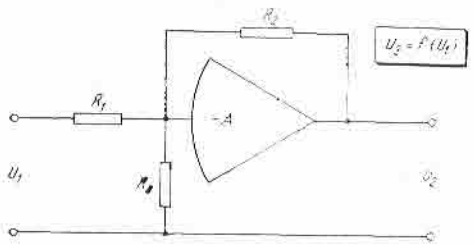
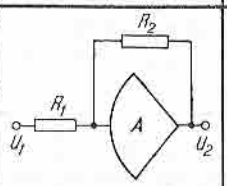
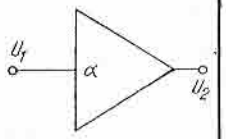
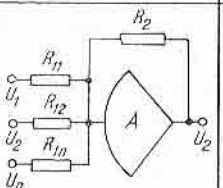
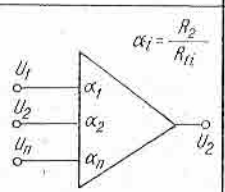
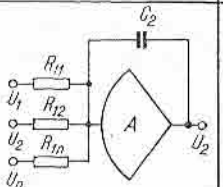
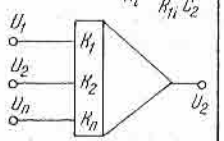
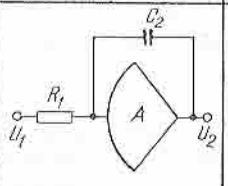
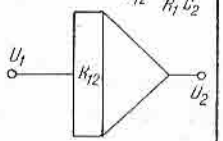
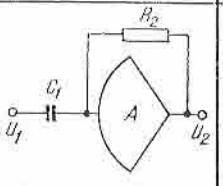
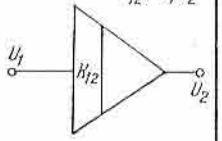


Fig. 11.1. Amplificator operațional.

Tabelul 11.1

Tipul elementului	*Schema electrică*	*Simbol grafic*	*„Operația" matematică*
Element de înmulțire cu o constantă			$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1$
Element de sumare			$U_2 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{R_2}{R_{1i}} U_{1i}$
Element de sumare integrare			$U_2 = -\int_0^t \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_{1i} C_2} U_{1i}\, dt$
Element de integrare			$U_2 = -\frac{1}{R_1 C_2} \int_0^t U_1\, dt$
Element de diferențiere			$U_2 = -C_1 R_2 \frac{dU_1}{dt}$

● Un calculator analogic cuprinde, pe lîngă o serie de amplificatoare operaționale, și **surse de alimentare, impedanțe operaționale** (potențiometre și condensatoare) precum și **echipamente de ieșire** constînd în: voltmetre indicatoare, voltmetre numerice, osciloscoape catodice, potențiometre automate etc.

C CALCULATOARE NUMERICE

La aceste tipuri de **calculatoare,** numite și **cifrice** sau **digitale,** *valorile tuturor mărimilor prelucrate sînt reprezentate prin valori numerice discrete.* Calculatoarele numerice sînt astăzi cele mai răspîndite în întreaga lume, fiind realizate în principal cu următoarele elemente electronice:

— *cu tuburi — „generația I";*
— *cu tranzistoare — „generația a II-a";*
— *cu circuite integrate — „generația a III-a".*

1. Structura calculatorului numeric

Calculatorul numeric este *un mijloc de calculat automat care permite să se efectueze, pe baza unui program de lucru stabilit, o serie de operații aritmetice și logice.*

Operațiile aritmetice efectuate sînt: adunarea, scăderea, înmulțirea și împărțirea unor numere, iar *operațiile logice:* compararea a două numere, alegerea unui număr mai mare sau mai mic decît altul, funcții logice de tip ȘI, SAU, SAU EXCLUSIV etc.

Programul de calcul este constituit dintr-o serie de instrucțiuni și asigură prelucrarea informației conform dorinței utilizatorului (operatorul uman).

Structura generală a unui „sistem de calcul" (calculator) cuprinde trei blocuri principale (fig. 11.2):

— *blocul de introducere (intrare) a datelor;*
— *blocul de prelucrare (unitatea centrală);*
— *blocul de extragere (ieșire) a rezultatelor.*

● **Blocul de intrare** *asigură introducerea programului și a datelor de prelucrat în memoria principală a calculatorului.*

Blocul de intrare este diferit în funcție de mediul-suport purtător de informații (cartele perforate, bandă perforată sau bandă magnetică, disc magnetic — v. cap. 8, fig. 8.5). Ca urmare, acest bloc va conține: *cititoare de cartele perforate, cititoare de bandă perforată* sau *unități cu bandă magnetică, unități cu discuri magnetice* etc.

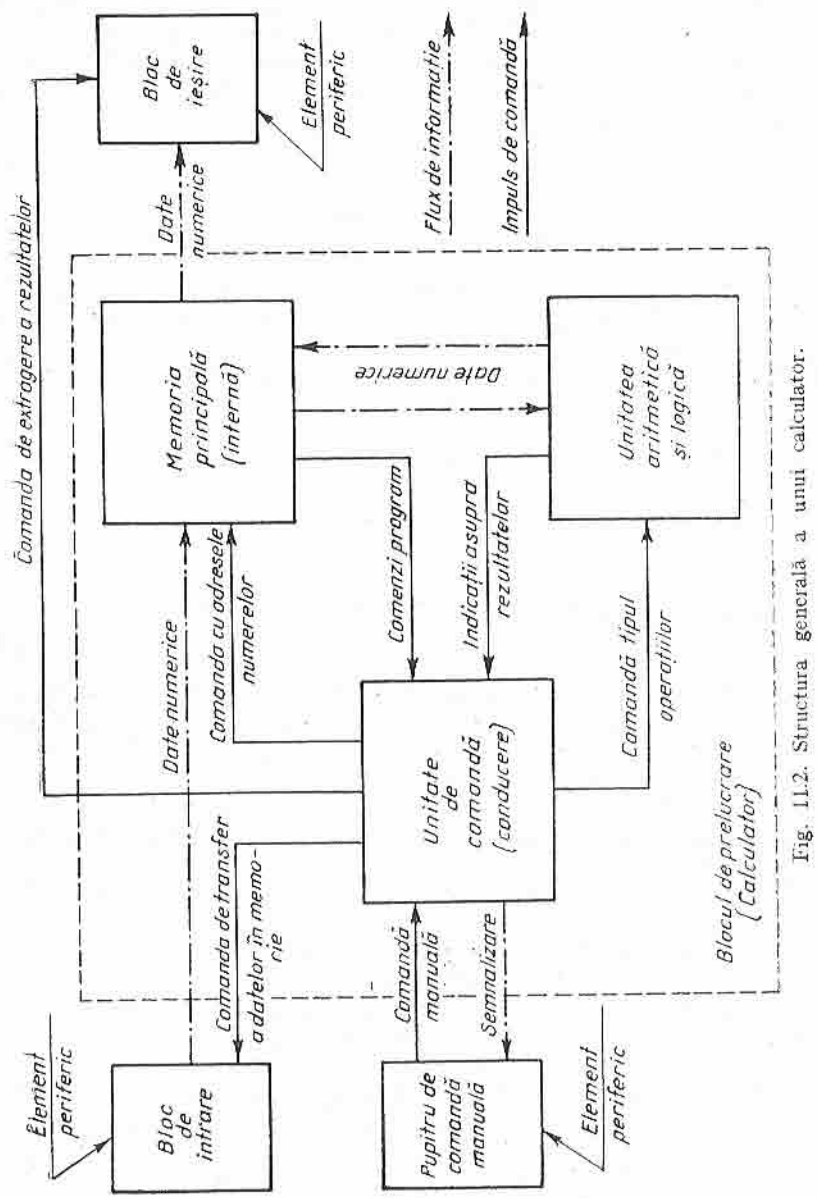


Fig. 11.2. Structura generală a unui calculator.

● **Blocul de prelucrare a datelor** formează unitatea centrală a sistemului de calcul și se compune din:

— *unitatea de comandă;*

— *memoria principală;*

— *unitatea aritmetică și logică.*

○ **Notă.** În vorbirea curentă, întregul ansamblu prezentat în figura 11.2, care de fapt reprezintă un sistem de calcul, este denumit impropriu calculator. În realitate, prin calculator se va defini numai unitatea centrală adică blocul de prelucrare, în timp ce toate celelalte elemente: blocul de intrare, de ieșire etc. vor fi denumite *elemente periferice.*

Legăturile informaționale dintre dispozitivele menționate sînt arătate în figura 11.2.

Unitatea de comandă a blocului central descifrează într-o anumită ordine instrucțiunile programului memorat și indică unității aritmetice și logice ce operații trebuie să execute; de asemenea, comandă blocurile de intrare și ieșire.

Memoria principală sau **memoria internă** constituie locul unde se depozitează elementele de informație;

— programul de calcul;

— datele numerice ale programului;

— rezultatele intermediare.

Memoria este constituită dintr-un număr de celule de memorie numerotate în ordine crescătoare, fiecărei celule de memorie fiindu-i asociată o adresă. Cunoașterea unei anumite adrese permite „citirea" conținutului din locul cu această adresă sau „înscrierea" unei informații în acest loc.

○ **Observație.** Prin cifre, conținutul celulei nu se modifică.

Unitatea aritmetică și logică asigură efectuarea tuturor calculelor aritmetice și logice. În esență, această unitate este un sumator foarte rapid (zeci sau sute de mii de operații pe secundă) pentru că aproape toate operațiile aritmetice și logice se realizează prin adunare.

● **Blocul de ieșire** este *dispozitivul de livrare a rezultatelor.* Rezultatele pot fi transmise pe cartele perforate, benzi de hîrtie perforate, benzi magnetice, discuri magnetice, afișare pe tuburi catodice sau tipărite în clar. În acest ultim caz, tipărirea rezultatelor se poate face la o mașină de scris similară celor obișnuite, însă cu claviatura comandată electric prin elemente electromagnetice.

Pupitrul de comandă manuală reprezintă un alt echipament periferic de la care se comandă manual pornirea operațiilor de calcul și la care se semnalizează modul de funcționare al calculatorului.

2. Baza aritmetică a unui calculator numeric

a. *Sistem de numerație în cod zecimal*

În mod obișnuit, un număr oarecare se scrie în codul zecimal sau cu baza $b = 10$. În acest scop, se folosesc 10 cifre distincte, cifrele zecimale: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Folosind cele zece cifre se poate scrie orice număr, semnificația cifrelor scrise, de la dreapta la stînga fiind:

- unități $(10^0 = 1)$;
- zeci $(10^1 = 10)$;
- sute $(10^2 = 100)$;
- mii $(10^3 = 1\,000)$ ș.a.m.d.

Aceasta înseamnă că scriind, de exemplu, numărul 4 702, cele patru cifre au următoarele semnificații:

$$\begin{aligned} 4 \times 10^3 &= 4\,000 \\ 7 \times 10^2 &= \quad 700 \\ 0 \times 10^1 &= \quad\ 00 \\ 2 \times 10^0 &= \quad\ \ 2 \\ \hline &\quad 4\,702 \end{aligned}$$

Deci: $4 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0 = 4\,702$.

Utilizarea codului zecimal în tehnica calculatoarelor numerice nu este posibilă, deoarece elementele electrice și electronice se pot realiza, în general, pentru funcționare în două stări stabile ca, de exemplu: un releu dezexcitat (stare „0") sau excitat (stare „1"), un tub sau un tranzistor blocat (stare „0") sau în conducție (stare „1") ș.a.m.d. Din această cauză, în construcția calculatoarelor numerice se aplică un cod binar de numerație.

b. *Sistem de numerație în cod binar*

Un număr oarecare poate fi scris și în cod binar, adică în baza $b = 2$, utilizînd numai două cifre: 0 și 1.

Așa după cum orice număr poate fi scris în cod zecimal folosind zece cifre (0, 1, 2 ... 9), la fel el poate fi scris în cod binar folosind cele două cifre (0 și 1).

Ca și în cazul codului zecimal, semnificația cifrelor scrise de la dreapta la stînga este:

„bitul"* unu (un bit) — $2^0 = 1$
„bitul" doi (doi biți) — $2^1 = 2$
„bitul" trei (trei biți) — $2^2 = 4$
„bitul" patru (patru biți) — $2^3 = 8$
„bitul" cinci (cinci biți) — $2^4 = 16$
„bitul" șase (șase biți) — $2^5 = 32$ ș.a.m.d.

De exemplu, scriind în cod binar 110 101, cele șase semne au următoarea semnificație:

$$\begin{aligned} 1 \times 2^5 &= 32 \\ 1 \times 2^4 &= 16 \\ 0 \times 2^3 &= \ 0 \\ 1 \times 2^2 &= \ 4 \\ 0 \times 2^1 &= \ 0 \\ 1 \times 2^0 &= \ 1 \\ \hline &\quad 53 \end{aligned}$$

Deci:

$$1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 53;$$

este vorba de numărul 53 (cincizeci și trei).

○ **Notă.** Fiecare dintre cele șase semne folosite poartă numele de bit de informație, deci numărul 53 necesită în cod binar șase biți față de numai două ranguri (semne) cîte se folosesc în codul zecimal.

Convertirea unui număr din cod zecimal în cod binar este foarte simplă folosind termenii: $2^0(1)$; $2^1(2)$; $2^2(4)$; $2^3(8)$; $2^4(16)$; $2^5(32)$ ș.a.m.d

Ca și cu numerele scrise în cod zecimal, și cu cele scrise în cod binar se pot efectua orice calcule aritmetice: adunare, scădere, înmulțire etc.

○ **Observație.** Ca și la sistemul zecimal, unele cînd prin adunarea cifrelor se obține numărul 10 (baza) se scrie 0 (zero) și apare o „cifră de transport" la stînga (rangul superior), la fel și în cod binar, $1 + 1 = 10$. Într-adevăr**:

$$10_{(2)} = 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 2_{(10)}$$

---

* În sistemul zecimal, cu care ne-am obișnuit, denumim aceste „ranguri" prin: „unități"; „zeci"; „sute"; „mii";...

** Indicele (2) arată codul (baza) la care este scris numărul.

Există mai multe tipuri de „purtători de informație" adică de medii suport (fizice) pe care să se înregistreze informația care se introduce inițial sau care se scoate din calculator.

● **Cartela perforată** este cel mai obișnuit purtător de informație.

O cartelă tip (fig. 11.3) are o formă dreptunghiulară cu lungimea împărțită în 80 de coloane, numerotate 1 ... 80 și cu lățimea împărțită în 12 linii numerotate 12, 11, 0, 1, 2, 3 ... 9.

Pentru memorarea pe cartelă a unui „caracter" (informație sau valoare) se folosește o coloană. Deci, pe o cartelă se pot memora 80 de caractere. Asocierea fiecărui caracter cu o anumită combinație de perforații (fig. 11.3) pe coloană se numește codificare.

○ **Atenție!** Fiecărei perforații îi corespunde semnul 1, după cum fiecărei lipse de perforație îi corespunde semnul zero. În consecință, rezultă că fiecărei coloane îi corespunde un număr de 12 biți scris în cod binar.

Trecerea informației — programul sau datele — pe cartele se realizează cu ajutorul *perforatorului de cartele*.

● **Banda de hîrtie perforată** este realizată principial ca și o cartelă, însă fiind continuă (rulou) numărul de coloane este foarte mare; în schimb, numărul de linii (piste) este de numai 8 sau 5 (în loc de 12, ca la cartelă).

Banda de hîrtie prezintă dezavantajul unei manevrări mai dificile și în plus se poate rupe.

● **Banda magnetică** este un purtător de informații foarte folosit la sistemele de calcul mijlocii și mari. Există benzi magnetice cu șapte piste sau cu 9 piste, ele fiind asemănătoare benzilor de magnetofon, însă avînd o lățime de 15 mm. Lungimea maximă a benzilor magnetice este de 732 m.

Informația se memorează sub formă de impulsuri (magnetizat 1, nemagnetizat 0) separate cu spații goale.

Densitatea de informație este foarte mare la banda magnetică în raport cu cartela sau banda de hîrtie. Astfel, se pot înregistra 80 ... 800 caractere pe cm lungime de bandă. De obicei, se folosesc 320 sau 640 caractere pe cm, ceea ce înseamnă că o rolă de 732 m poate conține 14 milioane caractere.

Înscrierea și citirea informației se realizează cu un *cap* similar celui *de magnetofon*.

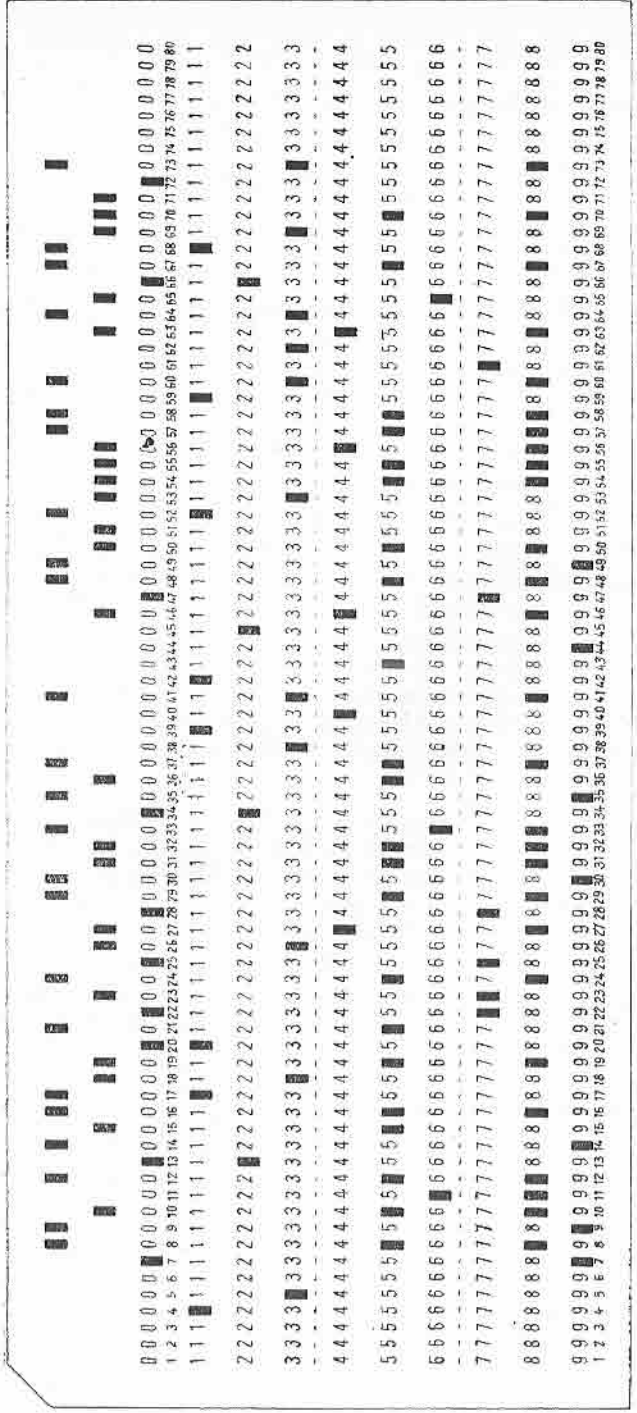


Fig. 11.3. Model de cartelă perforată.

Capitolul 12

CONDUCEREA PROCESELOR CU AJUTORUL CALCULATOARELOR

A. CONSIDERAȚII GENERALE

Utilizarea calculatoarelor pentru conducerea proceselor industriale a cunoscut în ultimul timp o dezvoltare rapidă datorită pe de o parte îmbunătățirii performanțelor calculatoarelor privind: viteza de lucru (zeci de mii de operații pe secundă), capacitatea memoriei, siguranța în funcționare etc., iar pe de altă parte datorită elaborării unor procedee mai exacte de identificare a proceselor. Se precizează că prin identificarea proceselor se înțelege determinarea modelului matematic al unui proces, adică al modului de comportare în regim static și dinamic a procesului respectiv.

În conducerea proceselor se folosesc în principal calculatoare numerice specializate și, în anumite cazuri, și calculatoare universale.

Motivul principal pentru care procesele tehnologice se pretează la conducerea cu calculatoare rezidă în faptul că dintre fluxul de materie (material și energie) și fluxul informațional, acesta din urmă constituie elementul esențial al conducerii (dirijării) procesului respectiv în scopul realizării unor criterii de performanță (v. cap. 1).

Datorită rolului esențial al informației în conducere (fie că este vorba de conducerea unui singur parametru al unui proces, a unei întreprinderi sau a unui combinat), calculatorul reprezintă o entitate logică, caracteristică principală a unui sistem de conducere, având capacitatea de a colecta, memora, prelucra și difuza o cantitate mare de informație cu mare viteză, precizie și siguranță.

○ **Observație.** Rolul calculatorului în dirijarea unui proces poate fi considerat asemănător cu acela al dispozitivelor de automatizare convențională, cu mențiunea că există o diferență cantitativă și calitativă esențială în ceea ce privește complexitatea instalațiilor și a performanțelor obținute. Acesta este motivul pentru care conducerea prin calculator se mai numește și *automatizare complexă*.

Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor (automatizarea complexă) reprezintă o noțiune cu o sferă largă, cuprinzînd *diverse configurații pentru sistemele calculator-proces*, precum și *diverse concepte*, de complexități diferite, *de folosire a calculatorului în conducerea proceselor tehnologice*.

B. CONFIGURAȚIA SISTEMELOR CALCULATOR-PROCES

1. Calculatoare „off-line"

Cea mai simplă configurație posibilă (fig. 12.1) este aceea în care calculatorul se află „în afara liniei" *(off-line)*, adică el primește informații asupra procesului prin intermediul omului și în mod similar, rezultatele calculelor sale sînt concretizate sub forma unor comenzi efectuate de un operator uman, pe baza unui proces de gîndire efectuat de acesta.

În ceea ce privește **legătura informațională între proces și om,** există două *situații de conectare off-line*, și anume:

— *datele de intrare sînt manipulate manual* în sensul că, de exemplu, se citesc indicațiile aparatelor de măsurat, se înscriu într-o fișă de evidență și după aceea se transcriu pe cartele sau benzi care apoi se transmit calculatorului;

— *datele de intrare se colectează automat* și sînt înscrise direct pe purtătorii de informație care ulterior, prin intermediul operatorului uman, se introduc în calculator.

În ambele cazuri, la funcționarea off-line a calculatorului are loc acumularea datelor și din timp în timp acestea sînt transmise și prelucrate de calculator.

Un asemenea regim este adecvat la procesele lente (v. cap. 1) unde întîrzierile nu contează.

○ **De menționat** că în modul de conectare *„off-line"* pot fi folosite și calculatoare universale.

Trebuie observat de asemenea că folosirea intermitentă a calculatorului permite o utilizare intensivă a acestuia printr-o *multiprogramare*, adică conectarea lui succesivă la diverse programe de calcul (de exemplu conducerea *„off-line"* a mai multor procese). În acest caz, regimul de funcționare al calculatorului se numește *cu divizarea timpului* („time sharing").

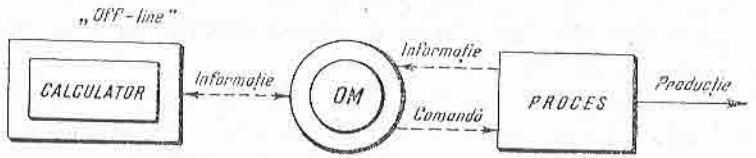


Fig. 12.1. Conectare *„off-line"* calculator-proces.

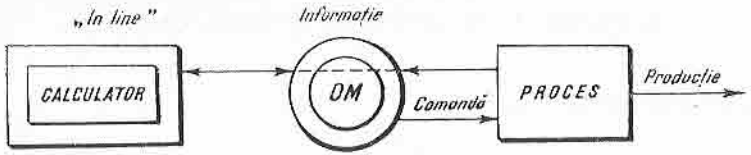


Fig. 12.2. Conectare *„in-line"* calculator-proces.

3. Calculatoare „in-line"

Şi în acest caz omul este interpus complet între proces şi calculator (fig. 12.2), însă în acest caz operatorul introduce datele privind procesul în mod rapid şi continuu, direct în calculator cu ajutorul unei console adecvate (imprimantă, claviatură, disc etc.). Şi în acest caz, pe baza rezultatelor ce se obţin în mod continuu, operatorul uman efectuează o serie de comenzi adecvate asupra procesului. Un asemenea calculator *(„in-line")*, care urmăreşte îndeaproape în timp o anumită activitate fizică externă, se numeşte şi *sistem cu funcţionare în timp real* (calculator cu *uniprogramare*).

3. Calculatoare „on-line"

Termenul de *„on line"* arată că calculatorul este conectat „pe linie" direct la fluxul informaţional (fig. 12.3), fără intervenţia omului şi fără întîrziere, mărimile măsurate fiind convertite direct într-o formă adecvată pentru a fi prelucrată.

În ceea ce priveşte **legătura de comandă,** se folosesc *două variante* de conectare *„on line"* şi anume:

— *sistem „on-line" cu circuit deschis* (fig. 12.3, *a*), la care comanda procesului se efectuează de către om pe baza rezultatelor elaborate de către calculator:

— *sistem „on-line" cu circuit închis* (fig. 12.3, *b*), la care deciziile de comandă sînt efectuate direct de către calculator pe baza unui program prestabilit de om.

În această variantă, modul de intervenţie în proces al calculatorului poate fi diferit în funcţie de structura sistemelor de automatizare convenţionale cu care sînt echipate instalaţiile tehnologice.

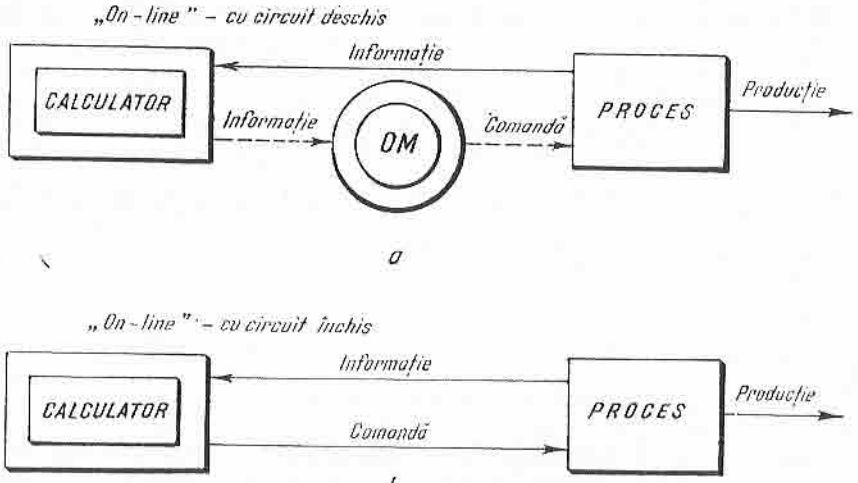


Fig. 12.3. Conectare *„on-line"* calculator-proces:
a — cu circuit deschis; *b* — cu circuit închis.

C. ECHIPAMENT DE INTRARE-IEŞIRE

1. Introducere

Pentru adaptarea mărimilor din proces, care de obicei sînt analogice, la mărimile necesare calculatorului care poate fi analogic sau numeric sau pentru adaptarea mărimilor în sens invers, de la calculator către proces, se folosesc o serie de echipamente specifice, dintre care amintim: *convertoarele, multiplexoarele, elementele de calcul* etc.

2. Convertoare numeric-analogice şi analog-numerice

Informaţia care se primeşte de la traductoarele din proces (presiune, temperatură, debit etc.), precum şi cea furnizată de un calculator numeric elementelor de execuţie, are un caracter *analogic.* Pe de altă parte, informaţiile introduse precum şi cele extrase din calculator au un caracter *numeric.*

Pentru transformarea (convertirea) mărimilor care intervin, din forma lor numerică în forma analogică sau invers, se folosesc tipuri speciale de elemente, numite convertoare analog-numerice (A/N) sau numeric-analogice (N/A).

● Ca exemplu, în figura 12.4, *a* este prezentată schema de principiu a unui **convertor N/A cu sumare de curenți și amplificator operațional.** Mărimea numerică este concretizată prin poziția comutatoarelor electronice figurate simplificat sub forma contactelor C_0, C_1 ...C_6 (s-a presupus că sistemul de numerație binar are 7 ranguri, deci pot fi folosite mărimi cu valori variind între 0 și 1 111 111).

$1\ 111\ 111_{(2)} = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + ...1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 127_{(10)}$.

Rezistențele de intrare în amplificatorul operațional A (fig. 12.4, *a*) au valorile:

$$R = \frac{R}{2^0};\quad \frac{R}{2} = \frac{R}{2^1};\quad \frac{R}{4} = \frac{R}{2^2} \cdots \frac{R}{64} = \frac{R}{2^6},$$

și în funcție de valoarea binară a rangului corespunzător ele pot fi conectate la tensiunea + V($C_i = 1$) sau la masă (— zero — $C_i = 0$).

Tensiunea U_i de intrare în amplificatorul operațional A (față de masă) precum și tensiunea U_e (fig. 12.4), sînt mărimi analogice proporționale cu mărimea numerică de intrare X_i. În exemplul din figura 124, *a* s-a considerat:

$$X_i = 1\ 101\ 001 = 105, \qquad (12.1)$$

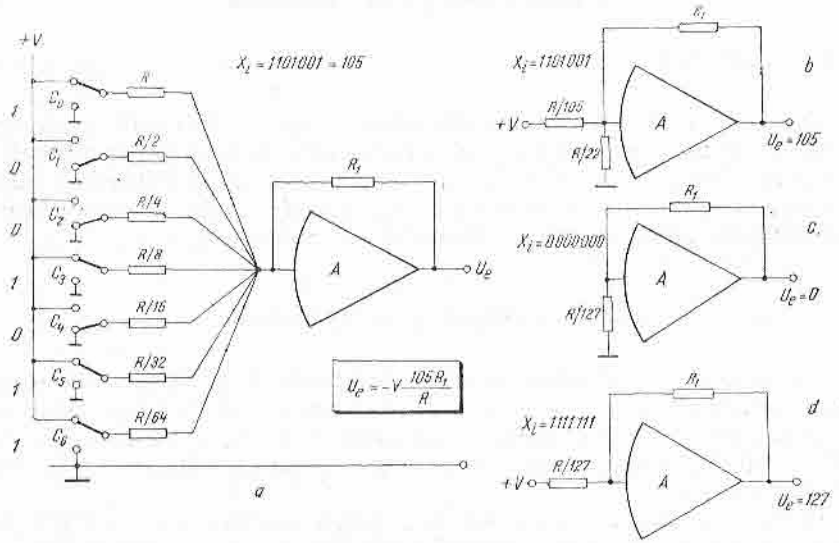


Fig. 12.4. Convertor numeric analog:
a — schema principială; *b* — schema echivalentă pentru $X_i = 1\ 101\ 001$; *c* — schema echivalentă pentru $X_i = 0$; *d* — schema echivalentă pentru $X_i = X_{i\,max} = 1\ 111\ 111$.

tensiunea de ieșire U_e fiind dată de expresia:

$$U_e = -V\frac{R_1}{R}(1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 +$$

$$+ 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0) = -\frac{V \cdot 105\ R_1}{R} \qquad (12.2)$$

○ **Notă.** Semnul minus arată că polaritatea tensiunii de ieșire este inversă față de cea de intrare (v. cap. 11).

În adevăr, pentru situația din figura 12.4, *a* schema echivalentă este cea din figura 12.4, *b*, în care rezistența de intrare este $R/105$ rezultată din legarea în paralel a rezistențelor ($X_i = 1$):

$$\frac{R}{64};\quad \frac{R}{32};\quad \frac{R}{8}\ \text{și}\ \frac{R}{1},$$

iar rezistența de legare la masă $R/22$ rezultă din legarea în paralel a rezistențelor ($X_i = 0$);

$$\frac{R}{16};\ \frac{R}{4}\ \text{și}\ \frac{R}{2}.$$

○ **Observație.** Valoarea minimă a mărimii de intrare este zero:

$$X_i = 0\ 000\ 000 = 0 \qquad (12.3)$$

și corespunde schemei echivalente din figura 12.4, *c*, cînd intrarea fiind nulă ($U_i = 0$), ieșirea va fi de asemenea nulă ($U_e = 0$).

Valoarea maximă a mărimii de intrare este:

$$X_i = 1\ 111\ 111 = 127_{(10)} \qquad (12.4)$$

și corespunde schemei echivalente din figura 12.4, *d*, cînd rezistența de intrare are valoarea minimă $\frac{R}{127}$, rezistența de masă fiind infinită, deci conform, cu relația (12.2):

$$U_e = -V\frac{R_1}{R} \cdot 127. \qquad (12.5)$$

● **Convertoarele analog-numerice** sînt similare cu cele numeric-analogice, avînd însă o funcționare inversă.

Un exemplu simplu de asemenea convertor este **cel folosit în comanda numerică a mașinilor-unelte** (v. cap. 8). Un suport transparent T (fig. 12.5) avînd, de exemplu, un număr de 7 benzi longitudinale notate cu B_1, B_2, B_4, B_8 și B_{16}, B_{32} și B_{64} cuprinde o serie de cîmpuri transversale

$C_i = 0; 1; 2 \ldots 126; 127$, care pot fi obturate (semnal logic 0) sau lăsate transparente (semnal logic 1). Suportul transparent — convertorul — se poate deplasa longitudinal cu o mărime (deplasare) analogică X_i proporțională, de exemplu, cu valoarea 22 ($X_i = 22$). Din figura 12.5 se observă că suportul este astfel vopsit încît cîmpurile negre (0) și transparente (1) analizate de la stînga spre dreapta și de jos în sus reprezintă numerele naturale; 0; 1; 2 ... 126; 127, scrise în cod binar.

O serie de surse luminoase: S_1 S_2, S_4... S_{64} plasate în dreptul indicației ZERO DE REFERINȚĂ, și la nivelul fiecărei benzi orizontale, emit fluxuri luminoase, dintre care numai cel de pe banda B_{16}, B_4 și B_2 străbat cîmpurile transparente ale convertorului; celelalte fluxuri luminoase sînt oprite de cîmpurile înnegrite.

Ca urmare, din cele șapte elemente fotosensibile, D_1, D_2, D_4... D_{64} vor fi impresionate nmai D_{16}, D_4 și D_2 (semnal logic 1) care vor produce o mărime numerică de valoarea

$$X_e = 0\ 010\ 110 = 22,$$

adică identică cu mărimea X_i, însă convertită în cod numeric binar.

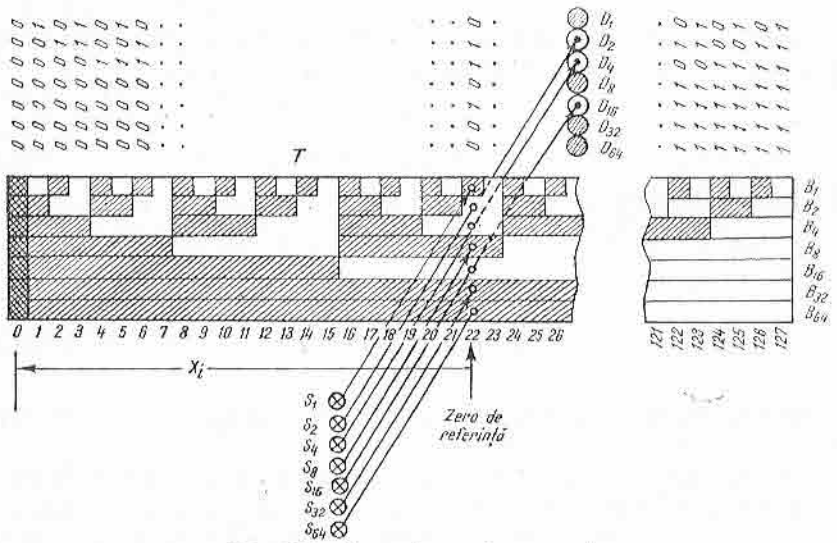


Fig. 12.5. Convertor analog-numeric.

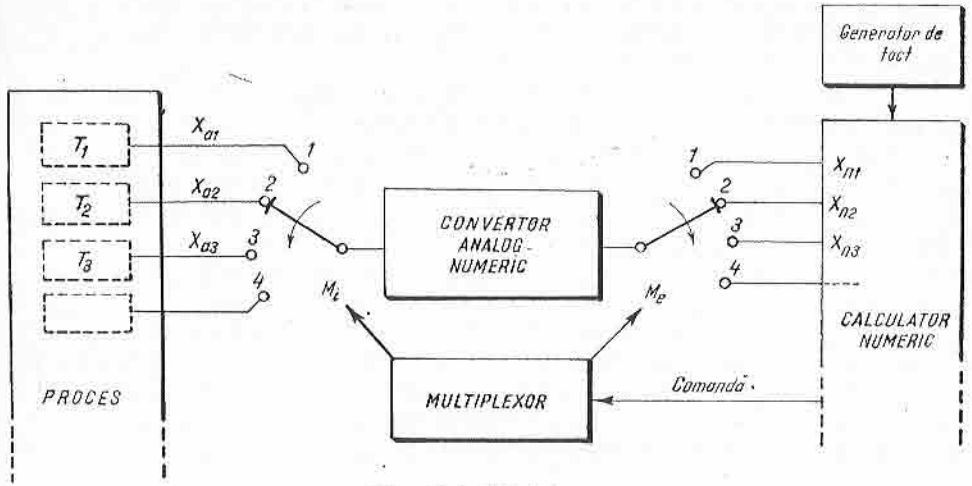


Fig. 12.6. Multiplexor.

3. Multiplexoare

Pentru folosirea aceloraşi convertoare analog-numerice sau numeric-analogice în scopul convertirii în timp a mai multor parametri de la o formă la alta, se folosesc multiplexoare. Aceste elemente, similare distribuitoarelor din automatică, sînt plasate la intrarea și ieșirea unui convertor (exemplul din figura 12.6) și se comută sincron (cu aceeași viteză) și sinfazat (M_i și M_e sînt simultan pe același plot).

În exemplul din figura 12.6 mărimile analogice X_{a1}, X_{a2} ... obținute de la traductoarele din proces T_1, T_2 ... sînt convertite în mărimile numerice X_{n1}, X_{n2} ... care sînt introduse în calculator de același convertor analog-numeric.

Multiplexoarele sînt realizate cu relee electromecanice sau electronice, funcționarea sincronă și sinfazată fiind asigurată de la un monitor de timp („generator de tact") prin intermediul calculatorului (fig. 12.6).

4. Elemente (aparate) electronice de calcul analogic

Instalațiile industriale de automatizare cuprind, uneori, o serie de aparate de calcul analogice destinate fie convertirii, fie combinării unor mărimi cu ajutorul unor relații algebrice de calcul (adunare, scă-

dere, înmulțire, împărțire, extragere de radical, integrare etc.). Aparatele respective pot fi folosite fie ca atare, fie ca elemente periferice (de intrare) într-un calculator de proces.

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva aparate electronice de calcul analogice din sistemul unificat E(IEA).

Funcționarea sistemului unificat de calcul se bazează pe utilizarea semnalelor cu „zero viu suprimat" și introducerea unui „zero real". Aceasta înseamnă că semnalul unificat 2 ... 10 mA înainte de a fi prelucrat este convertit în semnal cu zero real 0 ... 100%.

○ **Observație.** De exemplu, dacă unui traductor de presiune i se aplică la intrare presiunea zero ($P = 0$), semnalul unificat la ieșire este 2 mA („zero viu") care, înainte de a fi introdus în blocul de calcul propriu-zis, este transformat în 0 mA („zero real"). Ieșirea din elementul de calcul este tot un semnal unificat cu zero viu (2 ... 10 mA), ceea ce înseamnă că după efectuarea calculelor semnalul cu zero real (0 ... 100%) a fost convertit din nou în semnal unificat.

a. Element de adunare-scădere tip ELX 210

Este destinat adunării și (sau) scăderii * a 2, 3 sau 4 semnale unificate 2 ... 10 mAc.c., furnizînd la ieșire un semnal unificat 2 ... 10 mAc.c., corespunzător operației efectuate.

Formula de calcul după care se fac operațiile de însumare este următoarea:

$$I_0 = \pm K_1 I_1 \pm K_2 I_2 \pm K_3 I_3 \pm K_4 I_4, \qquad (12.6)$$

în care: I_0 este semnalul de ieșire 2 ... 10 mAc.c.;
$I_1 \dots I_4$ sînt semnale de intrare 2 ... 10 mAc.c.;
$K_1 \dots K_4$ — coeficienții de pondere, subunitari, stabiliți prin calcul.

○ **Notă.** Suma coeficienților de pondere a valorilor măsurate se alege întotdeauna egală cu 1:

$$K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 100\%. \qquad (12.7)$$

Schema-bloc a elementului respectiv este prezentată în figura 12.7.

Ponderea este reglată cu ajutorul rezistențelor variabile (potențiometre) R_3, R_5, R_7 și R_9.

* Practic spus, este vorba despre un sumator a unor mărimi de polarități diferite.

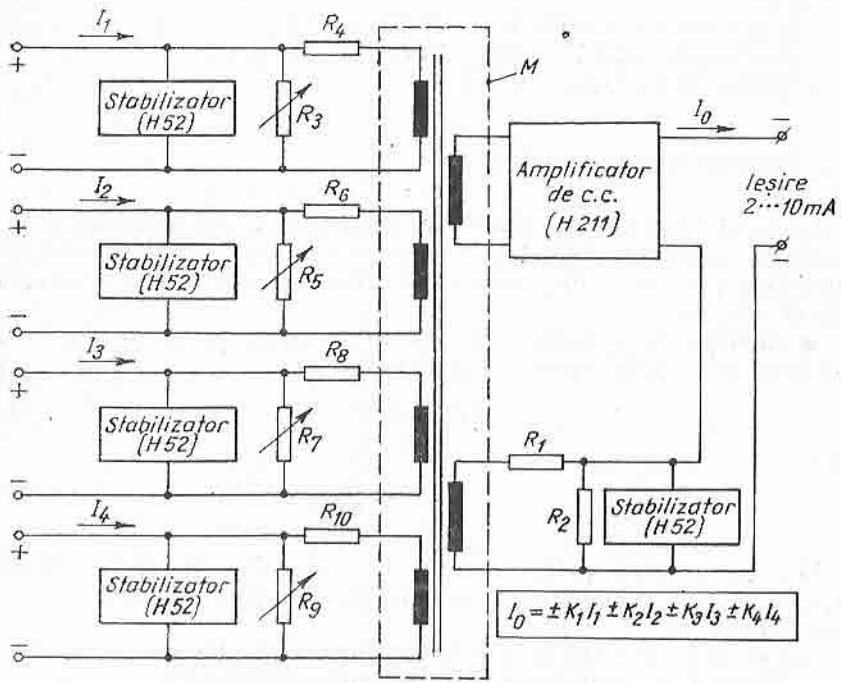


Fig. 12.7. Schema-bloc a elementului de adunare-scădere tip ELX 210.

Semnalele prelucrate în rețeaua de rezistențe R_3 ... R_{10} sînt însumate și amplificate într-un amplificator de curent continuu cu modulator magnetic. Semnalul obținut din modulatorul magnetic M (tensiune alternativă) este amplificat, redresat și apoi aplicat unui amplificator de putere (din cadrul blocului H 211), la ieșirea căruia se obține un semnal unificat de curent $I_0 = 2 \dots 10$ mA curent continuu.

Elementele H 52 sînt stabilizatoare de curent continuu care realizează suprimarea zeroului viu, la intrare și suprimarea zeroului real la ieșire.

Caracteristicile tehnice principale ale elementului ELX 210 sînt:
— semnale de intrare: 2 ... 10 mA curent continuu;
— numărul semnalelor de intrare: 2, 3 sau 4;
— semnal de ieșire: 2 ... 10 mA curent continuu;
— precizie: ± 0,5%;
— rezistența de intrare: maximum 1 000 Ω;

— rezistența de sarcină: 0 ... 3 000Ω;
— alimentare: 220 V ± 10%, 50 sau Hz;
— putere consumată: 10 VA.

b. *Extractor de radical tip ELZ 220*

Aparatul ELZ 220 este folosit în instalațiile de automatizare pentru măsurarea (reglarea) debitelor (D), în cazul folosirii traductoarelor care transformă presiunea diferențială (ΔP) într-un semnal proporțional cu debitul măsurat.

● **Atenție.** Se demonstrează că între diferența de presiune ΔP și debitul D de fluid există o relație de forma:

$$\Delta P = KD^2 \tag{12.8}$$

sau:

$$D = \frac{1}{K}\sqrt{\Delta P}. \tag{12.9}$$

Rezultă, deci, că pentru a obține un semnal proporțional cu debitul, este necesar să se extragă radicalul din valoarea semnalului de presiune diferențială.

Schema-bloc (fig. 12.8) cuprinde următoarele blocuri funcționale:
— *circuit de aproximare a rădăcinii pătrate (CA)*;
— *circuit de stabilizare a punctului de zero (CS)*;
— *bloc amplificator de curent continuu cu chopper (BA)*.

Semnalul de intrare se aplică circuitului de aproximare a rădăcinii pătrate, care cuprinde patru diode Zener Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 polarizate diferit cu ajutorul sursei E, în scopul deschiderii lor succesive. Cît timp nici

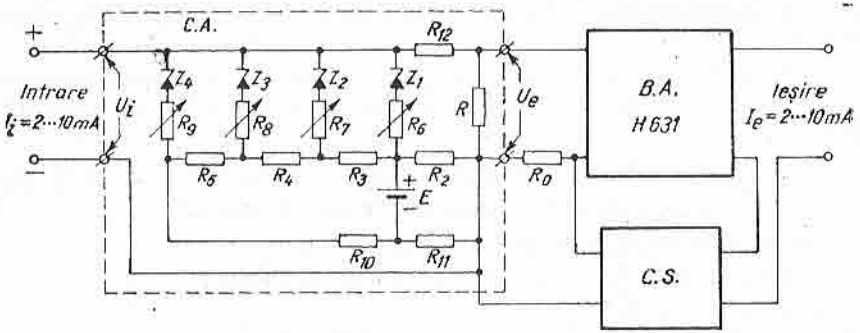


Fig. 12.8. Schema-bloc a extractorului de radical tip ELX 220.

una dintre ele nu conduce, caracteristica de funcționare este reprezentată de porțiunea $O - A$ din figura 12.9. Pe măsura creșterii curentului de intrare I_i, tensiunea de ieșire U_e crește, deci diodele $Z_1 ... Z_4$ încep să conducă succesiv obținîndu-se segmentele $A - B$ (conduce Z_1) $B - C$ (conduc Z_1 și Z_2) $C - D$ (conduc $Z_1 ... Z_3$) $D - E$ (conduc $Z_1 ... Z_4$).

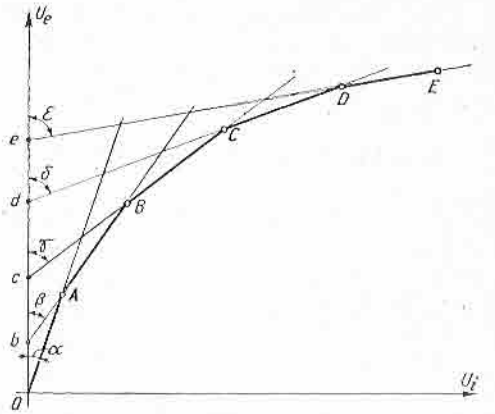


Fig. 12.9. Caracteristica de aproximare a rădăcinii pătrate.

Pantele porțiunilor de caracteristică sînt determinate de valorile rezistențelor $R_6 ... R_9$, iar coordonatele punctelor de inflexiune — de valorile rezistențelor $R_2 ... R_5$. În acest mod se obține o curbă (segment de dreaptă) care aproximează suficient de fidel relația:

$$U_e = K\sqrt{I_i}. \tag{12.10}$$

În continuare, tensiunea U_e este amplificată obținîndu-se la ieșire un curent I_e proporțional cu radicalul curentului de intrare I_i conform relației:

$$I_e = K\sqrt{I_i - 2} + 2\ (\text{mA}). \tag{12.11}$$

○ **Observație.** În relația (12.11), scăderea cifrei doi sub radical (— 2 mA) asigură trecerea de la zero viu (2 mA) la zero real, iar adunarea cifrei doi (+ 2 mA) asigură trecerea inversă.

Caracteristicile tehnice principale ale elementului ELX 220 sînt:
— semnal de intrare: 2 ... 10 mA curent continuu;
— semnal de ieșire: 2 ... 10 mA curent continuu;
— impedanța de intrare: circa 3 000 Ω;
— rezistența de sarcină: 0 ... 3 000 Ω;
— precizia: 1%;
— alimentare: 220 V, 50 sau 60 Hz;
— putere consumată: 8 VA.

○ **Notă** Extractorul de radical tip ELX 221 este similar tipului ELX 220, cu observația că extragerea rădăcinii pătrate se realizează cu un element Hall.

Se precizează că elementul Hall este constituit dintr-o plăcuță din material semiconductor S (fig. 12.10, *a*) străbătută de un curent I_1 și plasată într-un cîmp de inducție B produs de o bobină A alimentată cu curentul I_2. Fenomenul Hall constă în obținerea la bornele a și b de pe plăcuța semiconductoare (pe o direcție perpendiculară sensului curentului I_1), a unei tensiuni electromotoare e_H date de relația:

$$e_H = K'_H \cdot B \cdot I_1. \tag{12.12}$$

Deoarece în regim de funcționare nesaturat al bobinei A, cîmpul de inducție B este proporțional cu curentul care l-a produs:

$$B = K_B \cdot I_2, \tag{12.13}$$

rezultă în definitiv că tensiunea Hall este dată de relația:

$$e_H = K'_H \cdot K_B \cdot I_1 \cdot I_2 = K_H I_1 \cdot I_2, \tag{12.14}$$

în care K_H este constanta Hall.

Dacă bobina și plăcuța semiconductoare sînt parcurse de același curent I, relația (12.14) devine (fig. 12.10, *b*):

$$e_H = K_H \cdot I^2. \tag{12.15}$$

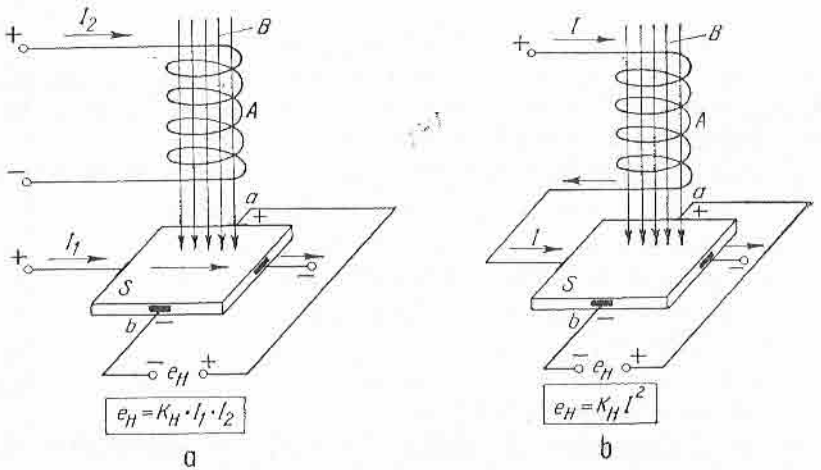


Fig. 12.10. Elementul Hall:
a — schema de principiu; *b* — schema de multiplicare

○ **Observație.** Elementul Hall poate fi folosit și ca:
— element de multiplicare a două semnale I_1 și I_2 (relația 12.14);
— element de împărțire (relația 12.14) printr-o schemă de montaj adecvată:

$$I_1 = \frac{1}{K_H} \cdot \frac{e_H}{I_2}; \tag{12.16}$$

— element de ridicare la pătrat (relația 12.15);
— element de extragere a rădăcinii pătrate (printr-o schemă de montaj adecvată):

$$I = \frac{1}{K_H} \sqrt{e_H}. \tag{12.17}$$

c. *Element de înmulțire-împărțire tip ELX 230*

Aparatul este destinat înmulțirii și (sau) împărțirii a doi sau trei parametri de semnal unificat, avînd în structura sa un multiplicator Hall și cîteva amplificatoare.

Caracteristicile tehnice principale sînt următoarele:
— semnale de intrare (I_1, I_2, I_3); 2 ... 10 mA curent continuu;
— semnalul de ieșire (I_e) 2 ... 10 mA curent continuu;
— relația de calcul: $I_e = \frac{K_1(I_1 - 2)(I_2 - 2)}{K_2(I_3 - 2)} + 2$ mA c.c., în care K_1, K_2 sînt coeficienți funcționali condiționați de relația: $0{,}5 \leqslant \frac{K_1}{K_2} \leqslant 2$;
— precizia: 0,5 ... 1%;
— rezistența de intrare: 200 Ω pentru I_1;
200 K_1Ω pentru I_2;
200 K_2Ω pentru I_3;
— rezistența de sarcină: 0 ... 3 000 Ω;
— alimentarea: 220 ± 10%V; 50 sau 60 Hz;
— puterea consumată: 15 VA.

d. *Element de împărțire tip ELX 231*

Aparatul este destinat împărțirii a doi parametri de semnal unificat; el cuprinde un element Hall, trei stabilizatoare (H 52) și un amplificator de c.c. cu chopper (H 631) — figura 12.11. După cum se observă, elementul (multiplicatorul) Hall este plasat în circuitul de reacție, efectuînd astfel multiplicarea semnalului de reacție cu cel de-al doilea semnal de intrare. În acest mod, se obține la ieșire un semnal de curent proporțional cu raportul între semnalele de intrare. Stabilizatoarele de pe circuitele de intrare au rolul de a elimina zeroul viu (— 2 mA), iar cel de pe circuitul de ieșire de a adăuga această valoare (+2 mA).

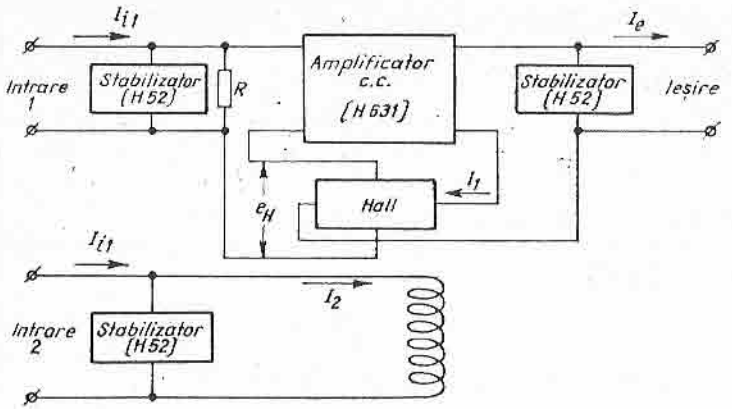


Fig. 12.11. Schema bloc a elementului de împărțire tip ELX 231.

Caracteristicile tehnice principale sînt următoarele:
— semnalele de intrare (I_1 și I_2): 2 ... 10 mA c.c.;
— semnalul de ieșire (I_e): 2 ... 10 mA c.c.;
— relația de calcul: $I_e = K\frac{I_1 - 2}{I_2 - 2} = 2$ (mA), unde $K = 0{,}5 \ldots 1$.

○ **Atenție!** Pentru $K = 0{,}5$, I_1 și I_2 pot lua orice valori, dar pentru $K = 1$ se impune $I_1 \leqslant I_2$;
— precizia: 1%;
— rezistența de intrare: 1 200 Ω;
— rezistența de sarcină: 0 ... 3 000 Ω;
— alimentarea: 220 V ± 10%; 50 sau 60 Hz;
— puterea consumată: 10 VA.

D. CONCEPTE DE UTILIZARE A CALCULATOARELOR ÎN CONDUCEREA PROCESELOR

1. Introducere

Pentru aceleași configurații ale sistemului calculator-om-proces, funcția calculatorului în conducerea proceselor poate fi diferită, în sensul că acesta poate prelua mai mult sau mai puțin din sarcinile unor elemente convenționale din conducerea procesului. De exemplu, așa cum va rezulta din cele ce urmează, calculatorul poate impune numai valorile de consemn (referință) ale regulatoarelor automate (v. cap. 6 și 9) sau poate prelua integral funcțiunile acestora, regulatoarele respective fiind eliminate. Astfel, în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii, se aplică următoarele concepte în ceea ce privește folosirea calculatoarelor în conducerea proceselor:

— *regim „ghid operator"*;
— *control (supraveghere) centralizat*;
— *comenzi de referință*;
— *optimizare*;
— *conducerea numerică directă (CND)*.

2. Funcția de „ghid operator"

În cazul în care omul se interpune în circuitul de comandă al procesului, fie că este vorba de o configurație *„off-line"* sau *„in-line"*, calculatorul — prin prelucrarea parametrilor din proces și pe baza programului stabilit — are funcția de a stabili („a ghida") modul în care trebuie condus procesul. Ca urmare, funcția calculatorului este aceea de ghid operator, el putînd fi în acest caz fie un calculator universal, fie unul specializat, funcționînd cu divizarea timpului.

3. Funcția de control centralizat

Această funcție presupune utilizarea unui calculator specializat conectat *„on-line"* în circuit deschis, care are rolul de a recepționa, prelucra, înregistra sau afișa un număr bine stabilit de parametri, eventual de a semnaliza optic și acustic ieșirea din limite a anumitor parametri.

Acest tip de calculator (de proces) conectat *„on-line"* funcționează deci un timp real deservind o anumită instalație tehnologică. Industria românească (IEA) realizează un asemenea tip de calculator de proces denumit MCC 200 și cunoscut sub numele de „instalație de control centralizat". Numărul parametrilor controlați este de 200. Conectarea acestui calculator la parametrii din proces se realizează, așa cum rezultă din anexa 1 (schema generală a sistemului electronic unificat „ε"), prin intermediul unor elemente de calcul dintre cele descrise în paragraful C (ALI 103; ELX 210; ELX 220 etc.).

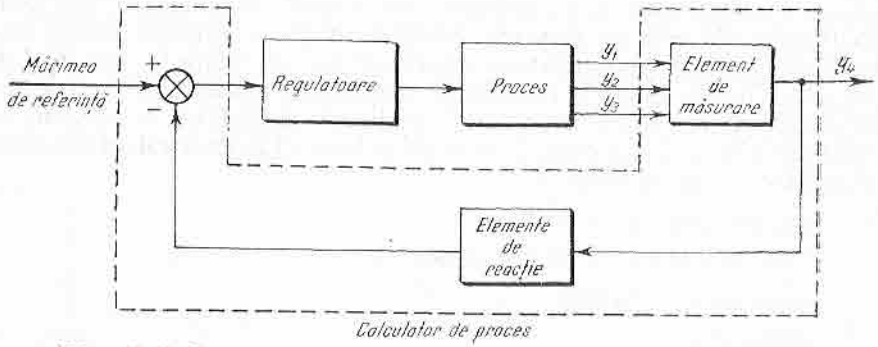


Fig. 12.12. Calculator având funcția de comandă a mărimilor de referință.

4. Funcția de comandă a mărimilor de referință

În această situație (fig. 12.12) instalația tehnologică este prevăzută cu regulatoare automate proprii pentru diversele variabile y_1, y_2, y_3, iar calculatorul de proces — pe baza valorii unui parametru general y_4 — modifică mărimile de referință (de intrare) ale regulatoarelor (v. cap. 6 și 9).

Sistemul de conectare a calculatorului pentru acest mod de funcționare este *„on-line"* cu circuit închis.

5. Funcția de optimizare

Conducerea optimală prin calculator constituie forma cea mai avansată de automatizare complexă *„on-line"* cu circuit închis. Un asemenea mod de conducere ține seamă de implicațiile economice globale ale acțiunii de conducere. În felul acesta calculatorul urmărește scopuri finale cum ar fi exemplu beneficiul maxim sau volumul maxim de producție, bineînțeles în cadrul unor condiții restrictive, ca de exemplu prețul de cost sau alți indici de calitate.

Schema principială a unei automatizări complexe cu funcția de optimizare este prezentată în figura 12.13.

Calculatorul primește informații de la intrarea (parametrii materialului și ai energiei) și de la ieșirea procesului (parametrii produsului) precum și de la proces (instalația tehnologică de producție). Totodată procesului i se impune și un program de conducere în care sînt incluse

criteriile de optimizare inclusiv restricțiile impuse. Conducerea optimală se efectuează de obicei pe baza unui model matematic al procesului care reprezintă de fapt relațiile matematice existente între parametrii procesului în regim dinamic și staționar.

Conducerea optimală prin calculator comportă trei **funcții** (etape) **de calcul** distincte dar corelate: *identificarea, optimizarea* și *comanda*.

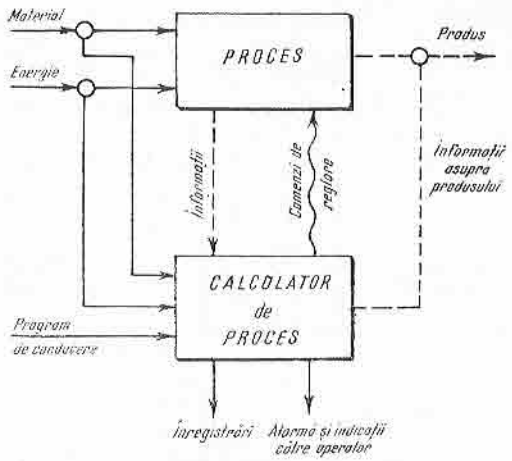


Fig. 12.13. Conducerea optimală cu calculator.

● **Identificarea.** Etapa de identificare, denumită uneori și *modelul stării prezente*, constă în determinarea („identificarea") valorilor curente ale tuturor variabilelor independente și dependente din proces.

Identificarea este punctul de plecare necesar pentru funcția de optimizare.

● **Optimizarea.** Pe baza modelului matematic impus și a modelului stării prezente (identificate), se efectuează calculul de optimizare pentru determinarea valorilor necesare variabilelor de conducere (comandă).

● **Conducerea.** Din punctul de vedere al valorilor de funcționare al variabilelor din proces, calculul de identificare răspunde la întrebarea: „În ce stare se află procesul"?, iar calculul de optimizare răspunde la întrebarea: „În ce stare ar trebui el să fie?". Calculul de conducere răspunde la întrebarea: „Cum se aduce procesul din situația în care este în cea care ar trebui să fie?". Așadar sarcina conducerii este de a determina strategia necesară pentru a ghida procesul (printr-o serie de comenzi de reglare) din regimul de funcționare real spre regimul optim dorit.

Totodată calculatorul de proces transmite o serie de înregistrări, semnalizări sau indicații către operator asupra parametrilor din proces.

6. Funcția de conducere numerică directă (CND)

După cum a rezultat din capitolele 6 și 9 variabilele principale ale procesului se reglează cu ajutorul sistemelor de reglare automate (SRA), adică cu ajutorul regulatoarelor. În cadrul funcției de conducere nu-

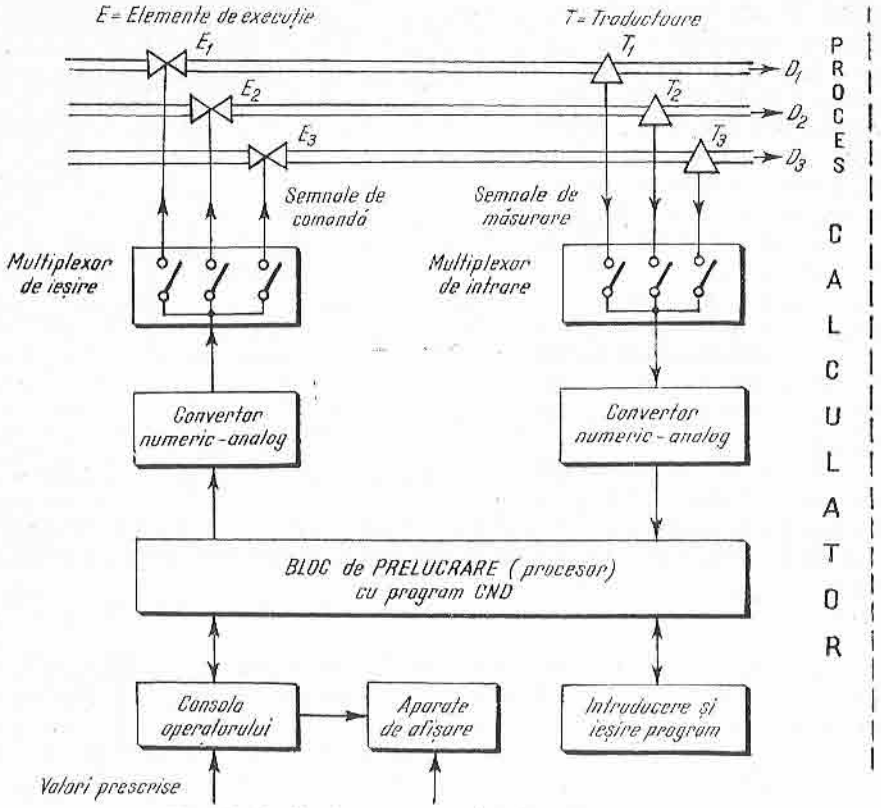


Fig. 12.14. Conducerea numerică directă cu calculator.

merică directă (CND) prin calculator, o mare parte din echipamentul analogic precum și sistemele de reglare convenționale (regulatoarele) sînt eliminate, atribuțiile respective fiind preluate de către calculatorul de proces. Problemele generale de reglare (stabilitate performanță, răspuns indicial etc.) tratate în capitolele 6 și 9 rămîn valabile și în acest caz, însă cu aplicație nu la regulatoarele obișnuite, ci la structurile incluse în calculator. În figura 12.14 se dă un exemplu de CND pentru trei debite de substanță, dintr-un proces oarecare.

După cum se observă, funcția de CND constituie o conectare „on-line" cu circuit închis a unui calculator de proces. Valorile parametrilor măsurați prin intermediul traductoarelor sînt aplicate ciclic printr-un multiplexor de intrare unui convertor analog-numeric care le introduce

în blocul de prelucrare cu program CND. Acesta, primind programul de lucru (de exemplu răspunsul indicial și ecuația de funcționare a SRA — — v. cap. 9) precum și alte valori prescrise introduse prin consola operatorului uman, elaborează mărimile de comandă care sînt mărimi numerice. Aceste mărimi convertite în formă analogică sînt distribuite prin multiplexorul de ieșire elementelor de execuție E.

E. EXEMPLE DE PROCESE INDUSTRIALE CONDUSE CU CALCULATOARE

În prezent, calculatoarele de proces și-au găsit practic aplicație în toate domeniile industriale.

1. Industria petrolieră

● **Conducerea cîmpurilor de sonde** se poate realiza printr-un calculator de proces folosind sisteme telemecanice (v. cap. 10) care determină debitul de extragere, determinînd volumele de apă, țiței și gaz precum și timpul de producție al sondei și conduce instalația de epurare, măsurare și transportul țițeiului brut pe conductă etc.

● **În rafinarea petrolului,** care cuprinde distilarea brută, cracarea catalitică și reformarea catalitică, se folosesc calculatoare de proces în funcționare *„on-line"* cu optimizare.

● **În exploatarea conductelor și stațiilor de pompare finală** se poate folosi conducerea prin calculator.

2. Industria chimică

● **În producerea acetilenei** se pot folosi calculatoare pentru optimizare care să asigure beneficiul maxim în cadrul mai multor restricții: debit maxim, viteza de formare a cocsului în cuptor și temperaturile la suprafețele exterioare ale tuburilor cuptorului. Calculatorul poate determina, de asemenea, randamentul maxim al compresoarelor, poate îmbunătăți performanțele în secția de hidrogenare a acetilenei; în sfîrșit, calculatorul poate stabili temperatura optimă a gazelor din cuptor în funcție de depunerile de cocs pe tubulatura cuptorului.

● **În producerea amoniacului,** calculatorul conduce producția subunităților (reformatoare) pentru obținerea catalitică a hidrogenului, azotului și bioxidului de carbon; de asemenea, conduce secția de purificare

(eliminare CO) și pe cea de sinteză a amoniacului (de exemplu, calculatorul ajustează raportul dintre hidrogen și azot la variațiile de funcționare ale convertorului).

3. Industria energetică

● **Conducerea** cu calculatoare a **centralelor termoelectrice** are ca obiective: economia de combustibil, securitatea în funcționare, reducerea timpilor de oprire, conducerea procesului de pornire și oprire etc.

● **Conducerea centralelor nuclearo-electrice** cu ajutorul calculatoarelor atît în perioadele de încercare (6—18 luni), cît și în exploatare, are în vedere atît aspectul economic cît și pe cel privind securitatea muncii în asemenea instalații.

● **În centralele hidroelectrice,** funcțiile calculatoarelor sînt acelea de supraveghere a elementelor hidrocentralei, conducere secvențială a pornirii și opririi grupurilor, utilizare optimală a apei în funcție de debit, de nivel și de cererile de putere etc.

● **În sistemul electroenergetic,** calculatorul se folosește, în combinație cu sistemele telemecanice, pentru reglarea frecvență-putere ținînd seamă de circulația optimală a puterilor de schimb pe linii (minimizarea pierderilor de putere și a căderilor de tensiune).

4. Industria siderurgică și metalurgică

● **În industria oțelului,** conducerea cu calculator se aplică începînd cu minele de extracție, fiind practicată apoi la producerea fontei, la aglomerare, la conducerea furnalului înalt, la elaborarea oțelurilor, turnarea continuă, la laminare etc.

● **În industria metalelor neferoase** se utilizează calculatoare la flotația minereurilor, la conversia cuprului, la reducerea electrolitică a aluminei etc.

5. Industria cimentului

Calculatorul poate fi folosit la amestecarea și măcinarea materiilor prime și obținerea clincherului în cuptoarele rotative.

6. Industria hîrtiei

Calculatorul se utilizează în conducerea proceselor de fierbere a pastei de celuloză, de regenerare și recirculare a substanțelor chimice, de albire dar mai ales în fabricarea fibrei de hîrtie.

7. Alte industrii

Calculatoarele de proces își găsesc astăzi cîmp larg de aplicare, practic, în toate activitățile industriale și economice. Astfel, în industria ușoară *la rafinarea zahărului, la diverse procese de uscare și coacere, în procesul de obținere a viscozei, la vopsirea textilelor, la dirijarea circulației în transporturi aeriene, navale și rutiere* etc. De asemenea, calculatoarele sînt folosite în cercetare și proiectare, în speță *în cercetări aerospațiale, în științele fizice, în biomedicină* și în diferite alte domenii.

REZUMAT

1. Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor reprezintă cea mai avansată formă de organizare a producției.

2. *Configurațiile sistemelor calculator-om-proces* sînt: *„off-line"*, *„in-line"* sau *„on line"* (cu circuit deschis sau închis).

3. Pentru adaptarea mărimilor din proces la cele necesare calculatorului, se folosesc o serie de *echipamente de intrare-ieșire*, cum sînt: convertoarele (numeric-analogice și analog-numerice), multiplexoarele, elementele de calcul etc.

4. În conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor acestea îndeplinesc diferite *funcții*, cum sînt:
— regim de „ghid operator";
— control (supraveghere) centralizat;
— comenzi de referință;
— optimizare;
— conducere numerică directă (CND).

5. Industria românească (IEA) realizează o serie de elemente de calcul (tipurile ELX) precum și un calculator de proces pentru control centralizat denumit MCC 200.

6. Calculatoarele de proces își găsesc o largă aplicație în toate activitățile industriale și economice.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

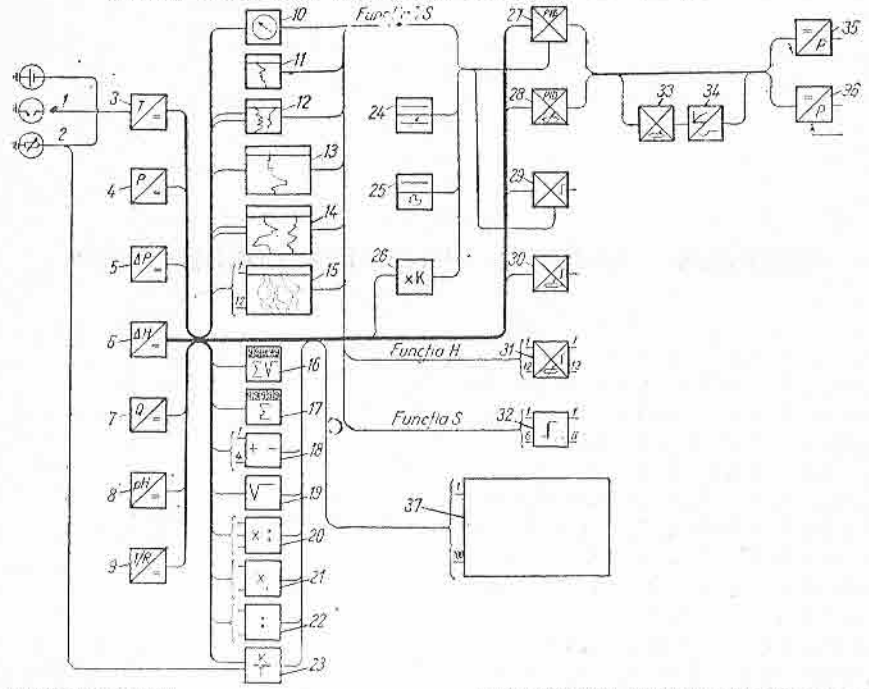
1. În conducerea *„off-line"* a procesului prin calculator, operatorul uman:
a) este complet înlocuit?
b) este plasat numai în circuitul de comandă?
c) este plasat integral între proces și calculator?

2. În conducerea *„on-line"* a procesului prin calculator, informațiile de măsurare sînt introduse:
   a) direct în calculator?
   b) operate în mod continuu de către om?
   c) introduse periodic în calculator prin divizarea timpului?
3. Funcția de control centralizat se realizează prin conectarea proces-calculator în regim:
   a) *„off-line"*?
   b) *„in-line"*?
   c) *„on-line"*?
4. În cazul folosirii calculatorului pentru comenzi de referință, regulatoarele automate:
   a) sînt eliminate complet?
   b) sînt eliminate parțial?
   c) rămîn în funcțiune?
5. Prin conducerea numerică directă, calculatorul îndeplinește și funcția de:
   a) reglare?
   b) execuție?
   c) măsurare?

RĂSPUNSURI EXACTE LA VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

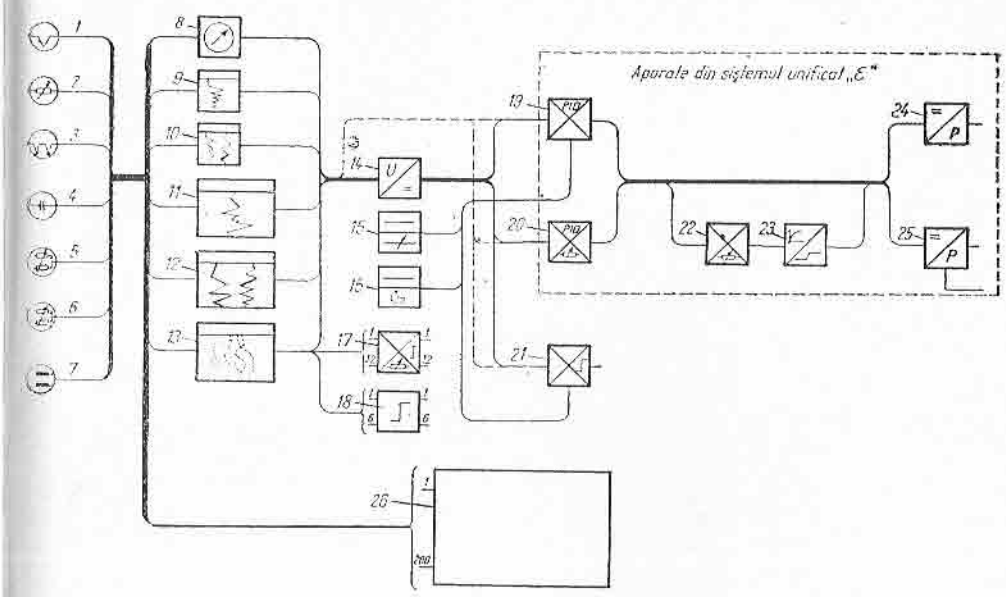
Capitolul 1: 1, *b*; 2, *c*; 3, *c*; 4, *b*
Capitolul 2: 1, *b*; 2, *c*; 3, *b*; 4, *a*; 5, *c*; 6, *c*
Capitolul 3: 1, *b*; 2, *a*; 3, *c*
Capitolul 4: 1, *c*; 2, *c*; 3, *b*; 4, *c*
Capitolul 5: 1, *b*; 2, *a*; 3, *c*
Capitolul 6: 1, *c*; 2, *a*; 3, *c*; 4, *b*; 5, *b*; 6, *b*.
Capitolul 7: 1, *b*; 2, *c*; 3, *a*; 4, *a*; 5, *c*
Capitolul 8: 1, *c*; 2, *a*; 3, *c*; 4, *b*; 5, *c*
Capitolul 9: 1, *b*; 2, *a*; 3, *b*; 4, *c*; 5, *a*; 6, *b*; 7, *a*; 8, *b*.
Capitolul 10: 1, *b*; 2, *a*; 3, *c*; 4, *c*;
Capitolul 11: 1, *a*; 2, *a*; 3, *b*; 4, *a*.
Capitolul 12: 1, *c*; 2 *a*; 3, *c*; 4, *c*; 5, *a*.

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC UNIFICAT „E"



1 TERMOCUPLURI
2 TERMOREZISTENȚE
3 ADAPTOARE ELT 160 ELT 161
4 TRADUCTOARE DE PRESIUNE AT(10, 20, 40) /ELT 370
5 TRADUCTOARE DE PRESIUNE DIFERENȚIALĂ EFL 271/ELT 370 AT 30/ELT 370
6 TRADUCTOR DE NIVEL AT 50/ELT 370
7 TRADUCTOARE DE DEBIT FL 281/ELT 530 DR 100/ELT 310
8 TRADUCTOARE DE *p*H W(62, 63, 64) /ELT 630
9 TRADUCTOR DE CONDUCTIVITATE W 44/ELT 730
10 INDICATOR ELECTRONIC ELR 10
11 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC ELR 35
12 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC DUBLU ELR 45
13 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE ELR 36
14 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE, DUBLU ELR 46
15 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MULTIPUNCT ELR 36(A)
16 INTEGRATOR DE RĂDĂCINĂ PĂTRATĂ ELI 103
17 INTEGRATOR LINIAR ELI 112
18 ELEMENT DE ADUNARE-SCĂDERE ELX 211
19 EXTRACTOR DE RĂDĂCINĂ PĂTRATĂ ELX 220 ELX 221
20 ELEMENT DE ÎNMULȚIRE — ÎMPĂRȚIRE ELX 230
21 ELEMENT DE ÎMPĂRȚIRE ELX 231
22 ELEMENT DE ÎNMULȚIRE ELX 241
23 ELEMENT DE COMPENSAREA TEMPERATURII ELX 420
24 ELEMENT DE REFERINȚĂ ELX 115
25 PROGRAMATOR CICLIC ELX 73
26 ELEMENT DE RAPORT ELX 126
27 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 111
28 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 113
29 REGULATOR BIPOZIȚIONAL ELX 75
30 REGULATOR TRIPOZIȚIONAL ELX 176
31 REGUALATOR BIPOZIȚIONAL MULTIPUNCT X 74
32 ELEMENT DE SEMNALIZARE MULTIPUNCT X 71
33 ELEMENT DE COMANDĂ MANUALĂ ELX 127 ELX 130
34 ELEMENT DE LIMITARE ELX 117
35 CONVERTOR ELECTRO-PNEUMATIC ELA 104
36 POZIȚIONER ELECTRO-PNEUMATIC ELA 114
37 INSTALAȚIE DE CONTROL CENTRALIZAT MCC 200

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC NEUNIFICAT



1 TERMOCUPLURI
2 TERMOREZISTENȚE
3 PIROMETRU DE RADIAȚIE K 42 — K 56
4 SURSE DE 2mV c.c.
5 DETECTOR DE RAPORT MOLAR U 121
6 DETECTOARE DE UMIDITATE U 21, U 22/U 23
7 DETECTOR DE CONCENTRAȚIE W 16
8 INDICATOR ELECTRONIC E 10
9 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC E 35
10 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC DUBLU E 45
11 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE E 36
12 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE, DUBLU E 46
13 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MULTIPUNCT E 36 (A)
14 CONVERTOR DE SEMNALE ELX 120
15 ELEMENT DE REFERINȚĂ ELX 115
16 PROGRAMATOR CICLIC ELX 73
17 REGULATOR BIPOZIȚIONAL MULTIPUNCT X 74
18 ELEMENT DE SEMNALIZARE MULTIPUNCT X 71
19 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 111
20 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 113
21 REGULATOR BIPOZIȚIONAL X 75
22 ELEMENT DE COMANDĂ MANUALĂ ELX 127
23 ELEMENT DE LIMITARE ELX 117
24 CONVERTOR ELECTRO-PNEUMATIC ELA 104
25 POZIȚIONER ELECTRO-PNEUMATIC ELA 114
26 INSTALAȚIE DE CONTROL CENTRALIZAT MCC 200

CUPRINS

PARTEA ÎNTÎI

Elementele sistemelor automate

Cap. 1. *Introducere în automatică* — 3
A. Obiectul și importanța automaticii — 3
B. Necesitatea și avantajele automatizării producției — 8
C. Fazele evolutive ale proceselor de producție — 9
D. Realizări în domeniul automatizărilor în R.S.R. — 11
E. Elementele componente ale sistemelor automate — 13

Cap. 2. *Traductoare* — 15

A. Noțiuni generale — 15
B. Convertoare — 19
C. Adaptoare — 23
D. Tipuri de traductoare — 29

Cap. 3. *Amplificatoare* — 47

A. Noțiuni generale — 47
B. Amplificatoare electronice — 51
C. Amplificatoare pneumatice și hidraulice — 54

Cap. 4. *Relee* — 57

A. Noțiuni generale — 57
B. Relee electrice cu contact — 61
C. Relee electrice fără contact (relee statice) — 62
D. Relee de mărimi neelectrice — 63

Cap. 5. *Elemente de execuție* — 66

A. Noțiuni generale — 66
B. Elemente de execuție electrice — 68
C. Elemente de execuție pneumatice — 68
D. Elemente de execuție hidraulice — 70

Cap. 6. *Regulatoare* — 71

A. Noțiuni generale — 71
B. Regulatoare cu acțiune continuă — 73
C. Regulatoare specializate și regulatoare unificate — 82
D. Regulatoare electronice, pneumatice, hidraulice — 85
E. Alegerea și acordarea regulatoarelor — 93

PARTEA A DOUA

SISTEME DE AUTOMATIZARE

Cap. 7. *Sisteme de măsurare și control automat* — 100

A. Noțiuni generale — 100
B. Prezentarea valorii mărimilor măsurate — 101
C. Aparate electronice de măsurare în sistemul E (IEA) — 109
D. Exemple de sisteme de măsurare și control automat — 119

Cap. 8. *Sisteme de comandă-semnalizare automată* — 125

A. Noțiuni generale — 125
B. Sisteme de comandă-semnalizare automată secvențială — 127
C. Sisteme de comandă (automată) după șablon (mașini de copiat) — 129
D. Sisteme de comandă — program numerică — 131

Cap. 9. *Sisteme de reglare automată* — 138

A. Noțiuni fundamentale privind sistemele de reglare — 138
B. Clasificarea *SRA* — 145
C. Formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrare, funcții tip pentru $x_i(t)$. Răspunsul *SRA* la funcțiile de intrare tip — 147
D. Analiza *SRA* în domeniul timpului — 148
E. Performanțele impuse funcționării *SRA* — 151
F. Stabilitatea sistemelor de reglare automată — 156

Cap. 10. *Telemecanica* — 161

A. Noțiuni generale — 161
B. Funcțiunile telemecanicii — 162
C. Structura aparaturii de telemecanică — 164
D. Telemăsurarea — 168
E. Telecomanda — 174
F. Cerințe impuse aparaturii de telemecanică — 178

PARTEA A TREIA

FOLOSIREA CALCULATOARELOR ÎN AUTOMATIZĂRI

Cap. 11. *Calculatoare electronice* — 180

A. Considerații generale — 180
B. Calculatoare analogice — 180
C. Calculatoare numerice — 183

Cap. 12. *Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor* — 192

A. Considerații generale — 192
B. Configurația sistemelor calculator-om-proces — 193
C. Echipament de intrare-ieșire — 195
D. Concepte de utilizare a calculatoarelor în conducerea proceselor — 206
E. Exemple de procese industriale conduse cu calculatoare — 211